



TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISA STABILITAS TRANSIEN AKIBAT HUBUNG
SINGKAT TIGA FASA PADA SISTEM *MICRO-GRID*
DENGAN *MULTIPLE DISTRIBUTED GENERATIONS***

Fadly Muttaqin
NRP 2213100023

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
Dimas Fajar Uman P, S.T, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh November
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

***TRANSIEN STABILITY ANALYSIS DUE TO THREE
PHASE SHORT CIRCUIT ON MICRO GRID SYSTEM
WITH MULTIPLE DISTRIBUTED GENERATIONS***

Fadly Muttaqin
NRP 2213100023

Supervisor
Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
Dimas Fajar Uman P, S.T, M.T.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Electrical Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**ANALISA STABILITAS TRANSIEN AKIBAT HUBUNG SINGKAT TIGA FASA PADA SISTEM *MICRO-GRID* DENGAN MULTIPLE *DISTRIBUTED GENERATIONS***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 02 Juni 2017

Fadly Muttaqin
NRP. 2213100023

**ANALISA STABILITAS TRANSIEN AKIBAT HUBUNG
SINGKAT TIGA FASA PADA SISTEM *MICRO-GRID*
DENGAN *MULTIPLE DISTRIBUTED GENERATIONS***

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D. Dimas Fajar Uman P, S.T, M.T.
NIP 19490715 197412 1 001 NIP 19881108 201212 1 001



ANALISA STABILITAS TRANSIEN AKIBAT HUBUNG SINGKAT TIGA FASA PADA SISTEM *MICRO-GRID* DENGAN *MULTIPLE DISTRIBUTED GENERATIONS*

Fadly Muttaqin
2213100023

Dosen Pembimbing 1 : Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Dimas Fajar Uman P, S.T, M.T

ABSTRAK

Era modernisasi memberikan dampak yang besar pada beberapa aspek kehidupan. Salah satu masalah yang timbul yaitu meningkatnya kebutuhan listrik yang pesat akibat perkembangan teknologi. Permasalahan ini akan berdampak pada ketahanan energi listrik nasional. Sehingga diperlukan pembangkit-pembangkit tersebar berskala kecil dalam rangka memenuhi kebutuhan daya listrik. Pembangkit tersebar ini akan dihubungkan pada grid utama PLN melalui sistem *Micro Grid*. Pada sistem *Micro Grid* terdapat beberapa DG yang digunakan sehingga apabila terjadi gangguan akan berdampak pada DG tersebut sehingga dibutuhkan sebuah analisa stabilitas transien yang bertujuan untuk menjaga kualitas daya listrik yang diterima konsumen listrik. Pada tugas akhir ini analisa stabilitas transien difokuskan pada jenis gangguan hubung singkat tiga fasa dengan mengamati parameter tegangan dan frekuensi pada sistem *Micro Grid*. Hasil simulasi beberapa studi kasus yang dilakukan menggunakan software ETAP 12.6.0 akan disesuaikan dengan standar yang digunakan untuk acuan dalam tindakan yang akan dilakukan terhadap sistem *Micro Grid* sehingga akan diwujudkan suatu sistem yang mampu mempertahankan sinkronisasi dan kestabilan pasca terjadi gangguan hubung singkat pada sistem tersebut.

Kata Kunci: *Micro Grid, Distributed generations, Stabilitas Transien, Kestabilan Tegangan, Kestabilan Frekuensi, ETAP 12.6.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

TRANSIENT STABILITY ANALYSIS DUE TO THREE PHASE SHORT CIRCUIT ON MICRO GRID WITH MULTIPLE DISTRIBUTED GENERATION

Fadly Muttaqin
2213100023

1st Advisor : Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.
2nd Advisor : Dimas Fajar Uman P, S.T, M.T

ABSTRACT

The era of modernization has had a major impact on some aspects of life. One of the problems that arises is the increasing demand for electricity due to technological developments. This problem will have an impact on national electrical energy security. Thus, small-scale scattered plants are required in order to meet the demand for electricity. This Distributed Generations (DG) will be connected to the main grid of PLN through the Micro Grid system. In the Micro Grid system there are several DGs used so that in case of interference will have an impact on the DG so that required a transient stability analysis aimed at maintaining the quality of electric power received by electricity consumers. In this final project transient stability analysis focused on three phase phase short circuit by observing the parameters of voltage and frequency in Micro Grid system. The simulation results of several case studies conducted using ETAP 12.6.0 software will be adjusted to the standards used for reference in action to be performed on Micro Grid system so that will diwujudkan a system capable of maintaining synchronization and post stability short circuit occurs on the system.

Key Words : Micro Grid, Distributed Generations, Transien Stability, Voltage Stability, Frequency Stability, ETAP 12.6.0.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah S.W.T yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Stabilitas Transien Akibat Hubung Singkat Tiga Fasa pada Sistem *Micro-Grid* dengan *Multiple Distributed Generations*“ ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pelaksanaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Keluarga penulis ibunda Adriyani dan ayahanda Rahmat Hidayat serta adinda Wahyudi yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materil serta nasehat, semangat dan doa agar Tugas Akhir ini berjalan dengan lancar dan selesai tepat pada waktunya.
2. Bapak Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D. dan Bapak Dimas Fajar Uman P, S.T, M.T. atas segala pengetahuan dan waktunya dalam membimbing penulis sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Seluruh Dosen, dan Staff Karyawan Departemen Teknik Elektro-FTE, ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
4. Ulfa Dwiyanti yang selalu mendukung dan menyemangati selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Saudara Syamsul Arbi dan Pius Aditya sebagai partner dan teman seperjuangan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman KONTRAKAN TERCINTA, Saudara Buya, Putra, Teddy, Randa, Suju, Syamsul dan Ryanda yang telah menjadi keluarga penulis selama berada diperantauan.

7. Teman-teman Ikatan Mahasiswa Minang Surabaya yang senantiasa menghibur penulis dikala senggang.
8. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dan senantiasa mengingatkan untuk bisa wisuda ke - 116.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dan berguna bagi penulis khususnya dan juga bagi para pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	4
BAB 2 SISTEM KELISTRIKAN <i>MICRO GRID</i> DAN TEORI	
KESTABILAN	5
2.1 <i>Distributed Generation (DG)</i>	5
2.1.1 Diesel	5
2.1.2 Minihidro	5
2.1.3 Sel Surya	6
2.2 <i>Utility</i> atau Grid PLN	7
2.3 Sistem Kelistrikan <i>Micro Grid</i>	7
2.3.1 <i>Islanded</i>	8
2.3.2 <i>Grid-Connected</i>	8
2.4 Konsep Kestabilan	9
2.5 Stabilitas Transien	10
2.6 Kestabilan Tegangan	11
2.7 Kestabilan Frekuensi	12
2.8 Gangguan Hubung Singkat	13
2.3.1 Hubung Singkat Tiga Fasa	14
2.3.2 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah	14

2.9 Governor	15
2.9.1 Prinsip Dasar Governor	15
2.9.2 Dasar-Dasar <i>Speed Governing</i>	16
2.10 Standar Pelepasan Beban.....	16
BAB 3 PEMODELAN SISTEM KELISTRIKAN <i>MICRO GRID</i>	
KOTA PAYAKUMBUH.....	19
3.1 Sistem Distribusi Listrik Kota Payakumbuh	19
3.2 <i>Single Line Diagram</i> dan Data Beban	19
3.2.1 <i>Feeder</i> Aua Kuniang.....	19
3.2.2 <i>Feeder</i> Sicincin	21
3.2.3 <i>Feeder</i> Pakan Sinayan.....	23
3.3 Data Grid PLN dan <i>Distributed Generations</i>	25
3.3.1 Grid PLN	26
3.3.2 Generator Minihidro	26
3.3.3 Generator Diesel	27
3.3.4 Sel Surya	27
3.4 Pemodelan Governor	28
3.5 Pengolahan Exciter	29
BAB 4 SIMULASI DAN ANALISIS STABILITAS TRANSIEN	
PADA SISTEM <i>MICRO GRID</i>	31
4.1 Sistem Kelistrikan Micro Grid Kota Payakumbuh.....	31
4.2 Studi Kasus Stabilitas Transien	31
4.3 Simulasi Stabilitas Transien	33
4.3.1 Studi Kasus All_On	34
4.3.2 Studi Kasus MH_Off	37
4.3.3 Studi Kasus SC3P_ISLD	40
4.3.4 Studi Kasus SC3P_ISLD_LS	42
4.3.5 Studi Kasus All_1Phase	49
BAB 5 PENUTUP	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	56
RIWAYAT HIDUP	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Model sederhana <i>Micro Grid</i> dengan operasi islanded	8
Gambar 2.2	Model sederhana <i>Micro Grid</i> dengan operasi Grid- connected	9
Gambar 2.3	Kurva sudut daya karakteristik respon generator ketika terjadi gangguan	11
Gambar 2.4	Standar tegangan berdasarkan IEEE 1159-195	12
Gambar 2.5	Standar frekuensi berdasarkan ANSI/IEEE C37.106- 1985	13
Gambar 2.6	Gangguan hubung singkat tiga fasa	14
Gambar 2.7	Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah	15
Gambar 2.8	Sistem sederhana penggambaran prinsip kerja governor	16
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram feeder</i> Aua Kuniang	20
Gambar 3.2	<i>Single Line Diagram feeder</i> Sicincin	22
Gambar 3.3	<i>Single Line Diagram feeder</i> Pakan Sinayan	24
Gambar 4.1	Respon frekuensi pada bus 58 saat terjadi hubung singkat 3 fasa	34
Gambar 4.2	Respon tegangan pada bus 58 saat terjadi hubung singkat 3 fasa	34
Gambar 4.3	Respon frekuensi Grid PLN dan generator minihidro saat terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 58	35
Gambar 4.4	Respon tegangan Grid PLN dan generator minihidro saat terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 58	36
Gambar 4.5	Respon frekuensi Grid PLN dan generator minihidro setelah gangguan dinetralisir	36
Gambar 4.6	Respon tegangan Grid PLN dan generator minihidro setelah gangguan dinetralisir	37
Gambar 4.7	Respon frekuensi bus 9 dan bus 117 saat terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 51	38
Gambar 4.8	Respon tegangan bus 9 dan bus 117 saat terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 51	38
Gambar 4.9	Respon frekuensi bus 9 dan bus 117 saat terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 51 dinetralisir	39
Gambar 4.10	Respon tegangan bus 9 dan bus 117 saat terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 51 dinetralisir	40
Gambar 4.11	Respon frekuensi pada bus minihidro	41

Gambar 4.12	Respon tegangan pada bus minihidro	41
Gambar 4.13	Respon frekuensi pada bus minihidro pada minihidro operasi <i>isochronous</i>	42
Gambar 4.14	Respon frekuensi pada bus diesel	43
Gambar 4.15	Respon tegangan pada bus diesel.....	44
Gambar 4.16	Frekuensi <i>Load Shedding</i> langkah 1	45
Gambar 4.17	Tegangan <i>Load Shedding</i> langkah 1	46
Gambar 4.18	Frekuensi <i>Load Shedding</i> langkah 2	47
Gambar 4.19	Tegangan <i>Load Shedding</i> langkah 2	47
Gambar 4.20	Frekuensi <i>Load Shedding</i> langkah 3	48
Gambar 4.21	Frekuensi bus 65 saat terjadi hubung singkat 1 fasa ke tanah.....	49
Gambar 4.22	Tegangan bus 65 saat terjadi hubung singkat 1 fasa ke tanah.....	50
Gambar 4.23	Respon frekuensi pembangkit.....	50
Gambar 4.24	Respon tegangan pembangkit	51
Gambar 4.25	Respon frekuensi pembangkit setelah gangguan diatasi	52
Gambar 4.26	Respon tegangan pembangkit setelah gangguan diatasi	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Skema load shedding 3 langkah standar ANSI/IEEE C37.106-1987	17
Tabel 3.1	Data beban <i>feeder</i> Aua Kuniang.....	20
Tabel 3.2	Data beban <i>feeder</i> Sicincin	23
Tabel 3.3	Data beban <i>feeder</i> Sinayan	25
Tabel 3.4	Data rating generator	25
Tabel 3.5	Data rating Grid PLN	26
Tabel 3.6	Data rating generator minihidro	26
Tabel 3.7	Data rating generator diesel.....	27
Tabel 3.8	Data rating panel surya	27
Tabel 3.9	Data rating interverter sel surya	27
Tabel 3.10	Data governor generator minihidro	28
Tabel 3.11	Data governor generator diesel 1 dan diesel 2.....	28
Tabel 3.12	Data <i>exciter</i> generator minihidro, disel 1,dan diesel 2....	29
Tabel 4.1	Daftar studi kasus	31
Tabel 4.2	Rincian studi kasus stabilitas transien yang disimulasikan.....	32
Tabel 4.3	Data <i>load shedding</i> penyulang sicincin	44

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting pada kehidupan era modern. Oleh karena itu, permintaan daya listrik yang terus bertambah akan menyebabkan daya listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit listrik akan semakin besar. Berdasarkan renstra kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) rasio elektrifikasi Indonesia pada pertengahan tahun 2016 masih berada pada 89,5% sementara itu kementerian ESDM akan menargetkan rasio elektrifikasi pada tahun 2017 menjadi 92,75% [1]. Dalam membangkitkan daya listrik yang besar dengan cakupan wilayah yang luas, sistem pembangkitan tersebar atau dikenal juga dengan *Distributed Generator* (DG) menjadi penting dalam rangka memenuhi permintaan beban, menaikkan keandalan, dan sebagainya.

Beberapa sumber energi listrik baik berupa energi terbarukan seperti turbin angin, turbin mikrohidro, sel surya, dll maupun energi tidak terbarukan seperti generator diesel bisa digunakan sebagai sumber-sumber energi dalam memenuhi permintaan beban secara langsung. Sumber-sumber energi listrik tersebut di integrasikan dalam sebuah sistem grid utama yang disebut dengan *Micro Grid* [2]. Masing-masing komponen dalam *Micro Grid* dimodelkan secara terpisah sesuai dengan karakteristik dan konstrainnya.

Dalam menyediakan sumber energi listrik yang baik bagi konsumen pada sistem *Micro Grid* dibutuhkan analisa-analisa yang mengkaji kondisi kestabilan dari sistem akibat adanya gangguan yang umum terjadi pada jaringan kelistrikan seperti hubung singkat tiga fasa. Dalam menganalisa kestabilan sistem penyimpanan nilai frekuensi dan tegangan sistem ketika terjadi gangguan 3 fasa dalam selang waktu tertentu dijadikan sebagai parameter utama.

Pada dasarnya untuk mengoperasikan sebuah pembangkit terdapat dua metode yaitu isochronous dan droop. Isochronous digunakan pada generator yang berfungsi sebagai kontrol frekuensi sedangkan droop digunakan pada generator yang digunakan untuk menyuplai daya yang tetap, pada *droop control* adanya gangguan baik berupa perubahan beban maupun hubung singkat akan berdampak pada perubahan frekuensi [3]. Oleh karena itu pada penelitian analisa stabilitas transien ini ditujukan

pada generator atau pembangkit yang menerapkan droop kontrol strategi pada pengoperasiannya.

1.2. Permasalahan

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan, maka dapat dirumuskan permasalahan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana memodelkan sebuah sistem *Micro Grid* yang memiliki beberapa *Distributed Generator* (DG)?
2. Bagaimana menerapkan droop kontrol strategi pada beberapa jenis *Distributed Generator* (DG)?
3. Bagaimana menganalisa dan mengatasi fenomena transien berupa frekuensi dan tegangan sistem *Micro Grid* akibat gangguan 3 fasa?

1.3. Batasan Masalah

Agar hasil penelitian menjadi terarah dan tidak menyimpang, maka masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini dibatasi sebagai berikut:

1. Menggunakan jaringan distribusi kota Payakumbuh.
2. Sistem dalam keadaan seimbang.
3. Jenis DG yang digunakan berupa PV, diesel dan minihidro.
4. Gangguan berfokus pada hubung singkat 3 fasa.
5. Parameter yang diamati adalah tegangan dan frekuensi sistem.
6. Simulasi tidak memperhatikan koordinasi proteksi sistem.
7. Simulasi digunakan menggunakan *software* Etap 12.6.0.

1.4. Tujuan

Penulisan tugas ini bertujuan untuk:

1. Mendapatkan pemodelan seluruh komponen dalam sistem *Micro Grid*.
2. Mempelajari penerapan metode *Droop Control Strategy* pada beberapa jenis *Distributed Generator* (DG).
3. Mendapatkan sistem yang stabil setelah terjadi gangguan berupa hubung singkat 3 fasa dengan memperhatikan fenomena transien.

1.5. Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini antara lain:

1. Studi Literatur
 - Studi literatur dilakukan dengan membaca buku dan melakukan *browsing* mengenai stabilitas transien, sistem *Micro Grid*, dan *Droop Control Strategy*.
2. Pengumpulan Data
 - Data yang dikumpulkan meliputi data parameter pembangkit, data feeder jaringan distribusi kota Payakumbuh, dan data pembebanan masing-masing feeder jaringan distribusi kota Payakumbuh.
3. Pemodelan Sistem
 - Melakukan pemodelan terhadap sistem *Micro Grid* dan menempatkan beberapa DG pada sistem sehingga dapat di analisa kestabilan sistem setelah diberi gangguan.
4. Simulasi dan Analisis
 - Melakukan simulasi analisa stabilitas transien pada sistem *Micro Grid* dengan beberapa *Distributed Generator* menggunakan *software* Etap 12.6.0 serta melakukan analisis terhadap hasil simulasi.
5. Penyusunan Laporan
 - Penyusunan laporan dilakukan sebagai penggambaran kesimpulan dari tugas akhir ini. Kesimpulan ini merupakan jawaban dari permasalahan yang dianalisis serta berupa saran sebagai masukan berkaitan dengan apa yang telah dilakukan.

1.6. Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut :

Bab 1 PENDAHULUAN

Penjelasan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan-batas permasalahan, tujuan penelitian, dan kontribusi penelitian.

Bab 2 STABILITAS TRANSIEN PADA SISTEM KELISTRIKAN MICRO-GRID

Penjelasan mengenai stabilitas transien, *Distributed Generatios* (DG), dan sistem kelistrikan *Micro-Grid*.

Bab 3 PEMODELAN SISTEM MICRO-GRID KOTA PAYAKUMBUH

Penjelasan mengenai pemodelan dan penerapan beberapa *Distributed Generations* (DG) pada sistem distribusi kota Payakumbuh sehingga menjadi sebuah sistem kelistrikan *Micro-Grid*.

Bab 4 SIMULASI DAN ANALISIS

Menganalisis hasil simulasi stabilitas transien akibat gangguan hubung singkat yang terjadi pada bus-bus dalam sistem kelistrikan *Micro-Grid*.

Bab 5 PENUTUP

Dalam bab ini berisi kesimpulan dan saran.

1.7. Relevansi

Penulisan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan acuan untuk mensimulasikan dan mengatasi fenomena stabilitas dari suatu sistem *Micro Grid* dengan beberapa *Distributed Generator*.
2. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah yang serupa untuk tugas akhir.
3. Dapat menjadi referensi penelitian untu mengembangkan analisis stabilitas transien yang lebih handal.

BAB II

SISTEM KELISTRIKAN *MICRO GRID* DAN TEORI KESTABILAN

2.1. *Distributed Generations* (DG)

Pembangkit listrik tersebar atau dikenal dengan istilah *Distributed Generations* (DG) merupakan suatu tren baru dalam dunia kelistrikan, DG juga salah satu solusi dalam mengatasi permasalahan pembangkitan tenaga listrik konvensional yang masih menggunakan sumber daya tak terbarukan yang desawa ini semakin menipis secara gradual. DG merupakan pembangkitan tenaga listrik yang berada dekat dengan titik konsumen dengan kapasitas pembangkitan yang kecil serta menggunakan sumber energi terbarukan seperti tenaga angin, cahaya matahari, mikrohidro, dan lain-lain [4].

Pada pengoperasiannya DG berada pada tingkat atau level tegangan jaringan distribusi listrik yaitu untuk Indonesia berada pada nilai 20 kV. Penambahan DG pada suatu sistem distribusi listrik akan mengakibatkan terjadinya *bidirectional power flows* atau aliran daya dua arah, jaringan seperti ini biasanya disebut dengan jaringan distribusi aktif. Pada penelitian ini menggunakan DG jenis *wind turbine*, *microhydro*, dan *photovoltaic*.

2.1.1. Diesel

Generator diesel merupakan salah satu generator yang sudah lama dikembangkan kurang lebih 100 tahun yang lalu. Generator diesel juga menjadi teknologi pertama yang diterapkan pada sistem pembangkit terebar atau *Distributed Generations*.

Pembangkit jenis ini banyak digunakan dalam berbagai sektor ekonomi dengan skala yang berbeda-beda mulai dari 1 kW hingga berpuh-puluh MW. Selain itu, generator diesel banyak digunakan pada alat-alat transportasi yang membutuhkan tenaga listrik seperti kereta, kapal dan lain-lain karena memiliki efisiensi dan keandalan yang tinggi [5].

2.1.2. Minihidro

Pada dasarnya suatu pembangkit listrik yang menggunakan air (hidro) berfungsi untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan aliran air yang mempunyai debit dan tinggi jatuh. Perbedaan mendasar antara pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dengan pemnbangkit listrik tenaga minihidro (PLTM/PLTMH) adalah besarnya

keluaran daya yang dihasilkan yaitu untuk PLTA keluaran dayanya lebih dari 5000 kW dan PLTM berkisar antara 100 kW hingga 5000 kW [6].

Prinsip kerja pada PLTMH sama dengan PLTA yaitu dengan memanfaatkan beda ketinggian atau sudut kemiringan dan jumlah debit air per detik. Aliran air ini akan memutar turbin dan turbin akan di pasang dengan generator sehingga generator ikut berputar dan menghasilkan energi listrik .

Besarnya daya keluaran suatu PLTMH dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut [7]:

$$P = g Q Hn \eta \quad (2.2)$$

Dimana:

P = daya keluaran (watt)

g = konstanta gravitasi (9.8 m/s^2)

Q = debit aliran air (m^3/s)

Hn = head net (m)

η = efisiensi

Dampak debit air yang berubah-ubah akan mengakibatkan tidak stabilnya tegangan dan frekuensi yang dihasilkan oleh PLTMH. Sehingga perlu adanya pengaturan yang digunakan pada sistem tersebut seperti penggunaan AVR untuk menstabilkan tegangan dan penggunaan governor yang mengatur katup air untuk menstabilkan frekuensi.

2.1.3. Sel Surya

Pembangkit sel surya atau lebih dikenal dengan istilah *photovoltaic* (PV) merupakan suatu sistem yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung. Karakteristik suatu sel surya saat beroperasi tidak sama dengan rating dari panel tersebut atau dapat diartikan saat operasinya panel surya tidak selalu dalam kondisi standar (1000 W/m^2 , suhu sel 25°).

Pengaruh intensitas matahari dimodelkan dengan mempertimbangkan daya keluaran dari modul sel surya yang sebanding dengan radiasinya. Untuk pengujian modul sel surya telah ditentukan dalam *Standart Test Condition* (STC). Berikut ini adalah keluaran daya dari modul sel surya yang dapat dirumuskan dalam persamaan 2.3 berikut [5]:

$$P_{PV} = M \{ P_{STG} \frac{G_{ING}}{G_{STG}} (1 + k (T_c - T_r)) \} \quad (2.3)$$

Dimana:

- P_{PV} = daya keluaran modul saat radiasi G_{ING} (Watt)
 P_{STG} = daya maksimum modul saat STC (Watt)
 G_{ING} = radiasi aktual (W/m^2)
 G_{STG} = radiasi saat STC ($1000 W/m^2$)
 M = jumlah modul
 k = koefisien suhu untuk daya modul ($\%/^{\circ}C$)
 T_c = suhu sel surya ($^{\circ}C$)
 T_r = referensi suhu ($25^{\circ}C$)

2.2. *Utility* atau Grid PLN

Dalam sistem *grid-connected*, PLN diintegrasikan dengan sistem *Micro Grid*. Suatu utilitas memiliki kapasitas yang sangat besar sehingga PLN diasumsikan mempunyai daya yang tak terbatas. Selain itu, PLN digunakan untuk menyeimbangkan perbedaan antara kebutuhan beban dan keluaran pembangkit tersebar (DG).

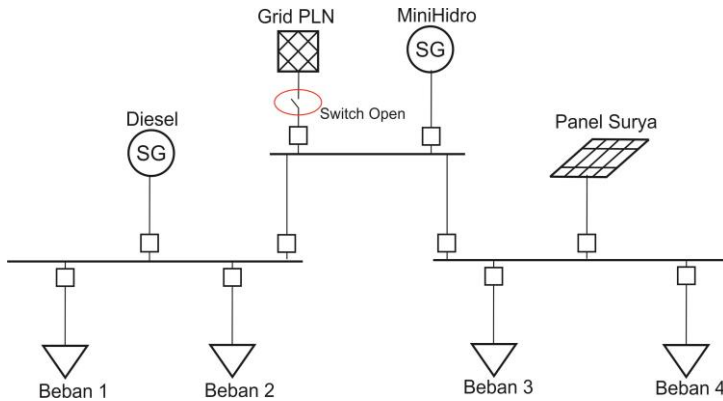
Utility atau bus PLN memiliki nilai tegangan dan parameter lain yang tetap sehingga bus PLN tidak terpengaruh oleh sistem yang ada dibawahnya. Pada keadaan sebenarnya model seperti ini tidak ada, namun model ini digunakan dalam proses analisis sistem distribusi untuk mempermudah dan menyederhanakan pemodelan. Bus PLN biasanya dioperasikan dalam mode mengikuti beban yang ditanggungnya atau biasa dikenal dengan istilah *swing* dan nilai *voltage angle* ditetapkan nol derajat.

2.3. Sistem Kelistrikan *Micro Grid*

Berdasarkan EU *research projects*, *Micro Grid* merupakan suatu sistem distribusi skala kecil yang memiliki beberapa sumber energi terdistribusi (DG), seperti *wind turbine*, PV, mikrohidro, dan sebagainya serta memiliki beban yang fleksibel [2]. *Micro Grid* biasanya diterapkan pada tegangan distribusi sehingga *Micro Grid* harus dapat bekerja pada kondisi normal (*grid-connected*) dan kondisi operasi darurat (*islanded*), sehingga *Micro Grid* mampu meningkatkan keandalan sistem, dan ramah lingkungan. Mode operasi manajemen energi pada *Micro Grid* adalah sebagai berikut:

2.3.1. *Islanded*

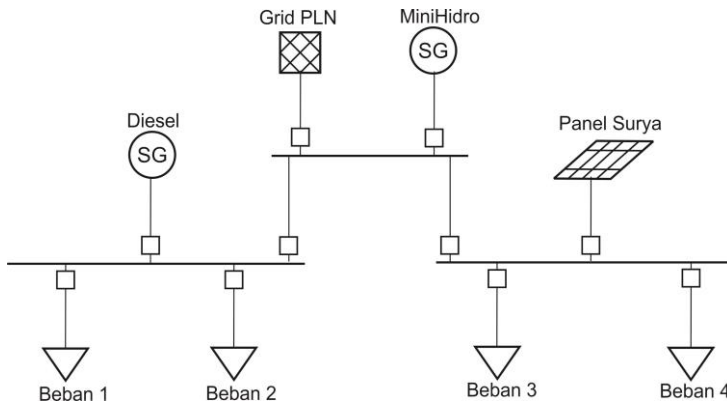
Mode operasi *Islanded* merupakan mode operasi yang tidak terhubung dengan grid utama (PLN). Pada operasi ini semua pembangkit yang ada beroperasi secara mandiri dalam memenuhi beban yang terdapat pada sistem. Pada operasi *islanded* harus memperhatikan kondisi stabilitas sistem terutama parameter frekuensi dan tegangan [8]. Berikut pemodelan sederhana sistem operasi *Islanded* yang ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Model sederhana *Micro Grid* dengan operasi *islanded*

2.3.2. *Grid-Connected*

Mode operasi *Grid-connected* merupakan mode operasi yang menghubungkan sistem *Micro Grid* dengan grid utama (PLN). Pada mode operasi ini pembangkit-pembangkit tersebar (DG) bersama dengan PLN dalam memenuhi kebutuhan sistem. Mode operasi ini lebih mengutamakan peningkatan *power factor*, dan optimisasi nilai tegangan pada bus-bus tertentu. Berikut pemodelan sederhana sistem operasi *Grid-connected* yang ditunjukkan pada gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Model sederhana *Micro Grid* dengan operasi Grid-connected

Dalam tugas akhir ini, tipe operasi sistem *Micro Grid* yang digunakan adalah *Grid-connected*. Dengan tipe operasi ini, grid utama (PLN) akan diintegrasikan ada sistem *Micro Grid* sehingga *Distributed Generation* (DG) yang terpasang tidak secara mandiri menanggung beban pada sistem tersebut. Jenis DG yang dimodelkan dalam *Micro Grid* pada tugas akhir ini adalah *wind turbine*, minihidro, dan *photovoltaic*.

2.4. Konsep Kestabilan [9]

Kestabilan sistem tenaga merupakan kemampuan suatu sistem tenaga listrik yang memiliki beberapa generator dalam mempertahankan keadaan operasi normalnya setelah mengalami gangguan maupun daam operasi normal. Suatu sistem tenaga listrik dapat dikatakan stabil apabila memiliki keseimbangan antara daya masukan berupa daya mekanik pada penggerak utama dengan daya keluaran berupa daya elektrik pada sistem.

Saat terjadi gangguan pada sebuah sistem daya tenaga listrik, maka sesaat pasca gangguan akan terjadi perbedaan daya *output* listrik dengan daya *input* mekanik. Generator akan mengalami perlambatan pada putaran rotor apabila daya *output* listrik melebihi daya *input* mekanik pasca terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik dan sebaliknya, jika daya *input* mekanik melebihi daya *output* elektrik maka generator akan mengalami percepatan.

2.5. Stabilitas Transien [10]

Stabilitas transient merupakan kemampuan suatu sistem tenaga mempertahankan sinkronisasi pasca terjadinya gangguan yang bersifat mendadak dalam rentang waktu satu kali *swing* (yang pertama). Gangguan pada sistem dapat berupa hilangnya beban yang besar secara mendadak, hubung singkat, dan sebagainya.

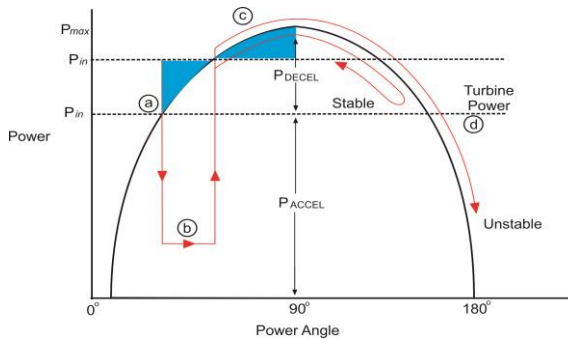
Pasca terjadinya gangguan generator akan berada pada kondisi peralihan atau *transient* kemudian akan mencoba kembali pada titik kesetimbangan yang baru secara perlahan. Pada kondisi peralihan ini, sistem bisa mengalami kehilangan kestabilan akibat gangguan yang terjadi berada diluar batas kemampuan sistem bereaksi.

Dalam mempermudah pemodelan dan perhitungan maka pada analisa kestabilan digunakan tiga asumsi dasar:

- Hanya frekuensi sinkron dari arus dan tegangan pada kumparan rotor yang diperhitungkan. Oleh karena itu, arus DC dan komponen harmonisa di abaikan.
- Komponen simetris digunakan untuk menganalisis gangguan yang tidak seimbang.
- Tegangan yang terbangkitkan dianggap tidak dipengaruhi oleh perubahan kecepatan mesin

Setelah terjadinya gangguan keseimbangan antara daya *input* mekanis dan daya *output* elektrik menjadi hilang. Jika daya *input* tidak mampu seimbang dengan daya *output* maka inertia yang bekerja pada generator akan mengalami perubahan. Apabila daya *input* melebihi daya *output* maka putaran rotor akan semakin cepat dan sebaliknya apabila daya *input* lebih kecil dari daya *output* maka putaran rotor akan melambat.

Analisa transien berkaitan dengan dengan besarnya gangguan pada sistem. Gambar 2.3 menjelaskan ilustrasi bagaimana karakteristik generator dalam merespon suatu gangguan. Titik kerja awal (titik a) merupakan keadaan sebelum terjadi gangguan. Terjadinya gangguan menyebabkan daya *output* generator turun secara drastis. Selisih antara daya *output* elektrik dengan daya *input* mekanis turbin mengakibatkan rotor generator mengalami percepatan sehingga sudut rotor atau daya bertambah besar (titik b). Pada saat gangguan hilang, daya *output* generator akan pulih sesuai dengan nilai pada urva sudut daya ($P-\delta$) diatas (titik c). Setelah gangguan hilang, daya *output* generator menjadi lebih besar daripada daya mekanis turbin. Hal ini mengakibatkan perlambatan pada rotor generator (titik d)



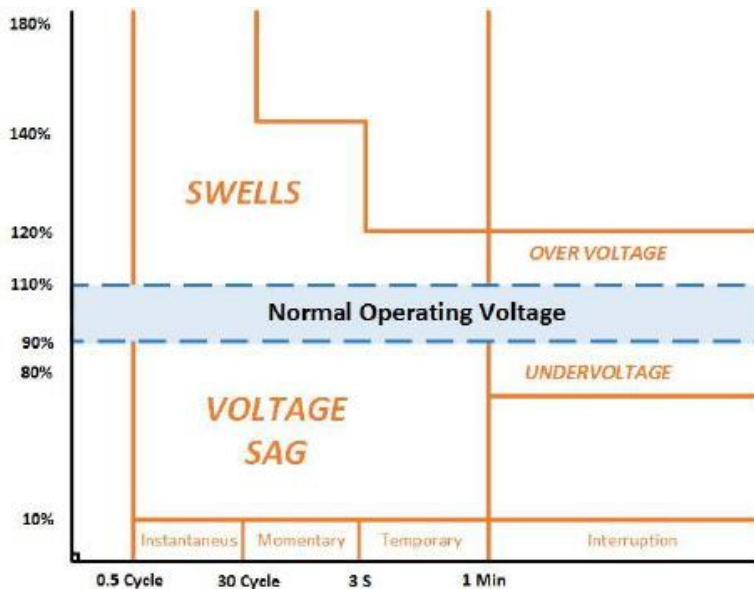
Gambar 2.3 Kurva sudut daya karakteristik respon generator ketika terjadi gangguan

Apabila terdapat torsi lawan yang cukup pasca gangguan hilang dalam mengimbangi percepatan yang terjadi selama terjadinya gangguan, generator akan stabil setelah ayunan pertama dan akan kembali pada titik kerja ideal. Apabila torsi lawan tersebut tidak mencukupi maka sudut rotor atau daya akan terus bertambah besar sampai sinkronisasi dengan sistem menjadi hilang.

2.6. Kestabilan Tegangan [9]

Kestabilan tegangan mengacu pada kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan tegangan yang *steady* pada semua bus dalam sistem setelah terjadinya gangguan. Kestabilan tegangan dipengaruhi oleh kemampuan sistem dalam mempertahankan atau mengembalikan keseimbangan antara suplai daya dari sumber dengan permintaan beban pada sistem tersebut.

Ketidakstabilan sistem tenaga listrik diwujudkan dalam bentuk penurunan atau kenaikan tegangan pada beberapa bus. Hal ini akan berdampak pada sistem diantaranya, kehilangan beban pada suatu area, lepasnya jaringan transmisi akibat sistem proteksi tenaga listrik yang beroperasi. Berikut standar magnitude tegangan yang dinyatakan oleh IEEE 1159-195 :

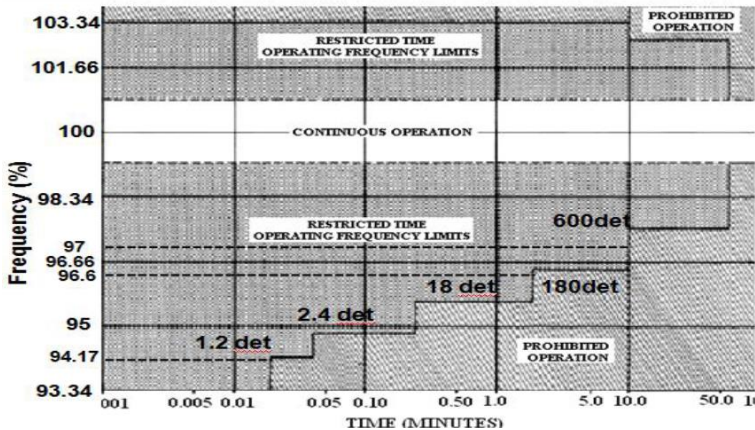


Gambar 2.4 Standar tegangan berdasarkan IEEE 1159-195

Fenomena ketidakstabilan tegangan akan menyebabkan terjadinya pemadaman pada beberapa beban sistem tenaga listrik, istilah ini biasa disebut dengan *Voltage Collapse*.

2.7. Kestabilan Frekuensi [9]

Kestabilan frekuensi mengacu pada kemampuan sistem tenaga dalam mempertahankan frekuensi ketika terjadi ketidakseimbangan yang signifikan antara pembangkit dan beban. Hal ini bergantung pada kemampuan dalam mempertahankan atau mengembalikan keseimbangan sistem. Ketidakstabilan frekuensi yang terus menerus dapat menyebabkan lepasnya unit pembangkit dari sistem. Berikut standar frekuensi yang ditetapkan oleh ANSI/IEEE C37.106-1987 [11] :



Gambar 2.5 Standar frekuensi berdasarkan ANSI/IEEE C37.106-1985

Stabilitas frekuensi dapat bersifat jangka pendek dan jangka panjang. Untuk jangka pendek dapat berupa pembentukan dari sebuah sistem wilayah yang relatif kecil yang memiliki pemutusan beban atau *load shedding* yang kurang sehingga frekuensi dapat turun secara cepat dan terjadi *black out* atau pemadaman hanya dalam beberapa detik. Untuk jangka panjang merupakan situasi yang lebih rumit, hal ini disebabkan oleh ketidakstabilan dapat terjadi akibat kontrol-kontrol yang mengalami *overspeed* pada generator.

2.8. Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal pada suatu komponen peralatan listrik yang memiliki impedansi yang relatif rendah baik terjadi secara sengaja maupun tidak disengaja antara dua titik yang memiliki potensial yang berbeda. Hubung singkat dapat terjadi akibat faktor internal atau faktor eksternal. Faktor internal dari gangguan dapat berupa peralatan listrik yang rusak, sementara faktor eksternal dapat berupa cuaca, petir, aktivitas manusia, dan sebagainya.

Gangguan hubung singkat yang terjadi dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tidak simetri (asimetri). Gangguan hubung singkat simetri yaitu berupa hubung singkat tiga fasa sedangkan gangguan hubung singkat tidak simetri (asimetri) berupa hubung singkat dua fasa, satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, dan tiga fasa ke tanah.

Gangguan-gangguan tidak simetri dapat menyebabkan aliran arus tidak seimbang pada sistem sehingga untuk menganalisisnya digunakan metode komponen simetri untuk menentukan arus maupun tegangan di semua bagian sistem setelah terjadi gangguan. Gangguan hubung singkat menyebabkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan menyebabkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu.

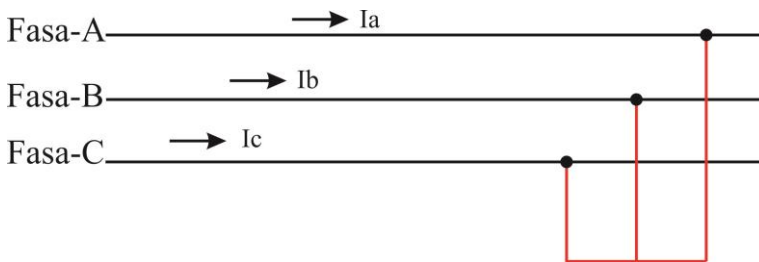
Gangguan hubung singkat dapat diperkecil kemungkinan terjadinya dengan melakukan *maintenance* atau pemeliharaan peralatan secara rutin dan terjadwal. Adapun akibat-akibat yang ditimbulkan dengan adanya gangguan hubung singkat tersebut antara lain:

- Merusak peralatan yang bedekatan dengan lokasi hubung singkat akibat nilai arus yang mengalir pada sistem besar.
- Berkurangnya stabilitas daya pada sistem.
- Menghentikan kontinuitas pelayanan listrik kepada konsumen akibat operasi *circuit breaker* apabila terjadi hubung singkat yang melebihi *setting* yang ditentukan.

•

2.8.1. Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa merupakan salah satu klasifikasi gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Berikut gambar yang menjelaskan gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut ini:

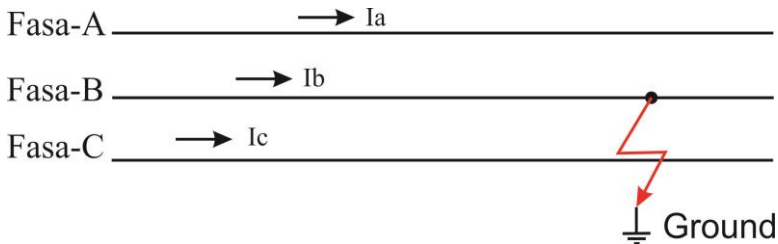


Gambar 2.6 Gangguan hubung singkat tiga fasa

2.8.2. Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Gangguan ini merupakan klasifikasi gangguan asimetris. Gangguan yang terjadi dapat dianalisa dengan menghubungkan-singkat semua sumber tegangan yang ada pada

sistem dan mengganti titik (*node*) gangguan dengan sebuah sumber tegangan yang besarnya sama dengan tegangan sesaat sebelum terjadinya gangguan. Berikut gambar yang menjelaskan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dilihat pada gambar 2.7 berikut ini:



Gambar 2.7 Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

2.9. Governor

2.9.1. Prinsip Dasar Governor

Governor adalah suatu komponen yang digunakan sebagai *interface* antara turbin penggerak dengan generator. Fungsi utama governor adalah mengatur kecepatan putaran turbin agar terjadi kestabilan sistem secara keseluruhan terhadap adanya variasi beban atau gangguan pada sistem [3].

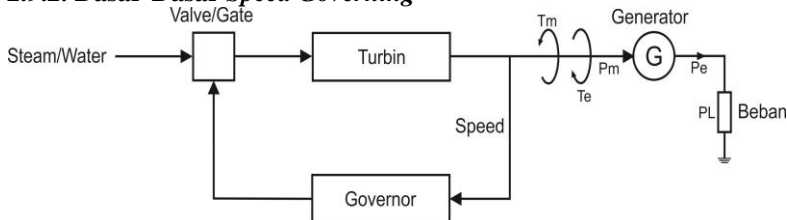
Sistem kerja governor dapat dianalogikan dengan seorang sopir (governor) dan mobil dengan prinsip kerja mengatur penggunaan bahan bakar. Jika kecepatan yang telah ditentukan (*desired speed*) adalah 100, maka sopir akan memeriksa speedometer (*actual speed*). Jika *actual speed* dan *desired speed* telah sama, maka sopir akan menahan posisi *throttle*. Jika tidak sama, maka sopir akan mengubah posisi *throttle* sehingga *actual speed* sama dengan *desired speed*.

Saat jalan berubah menjadi pendakian, beban akan bertambah dan *actual speed* akan menurun. Sang sopir menyadari bahwa *actual speed* lebih kecil dari *desired speed*, sehingga sopir akan menaikkan *throttle* agar penggunaan bahan bakar meningkat untuk menaikkan kecepatan sehingga kembali pada kondisi *actual speed* sama dengan *desired speed*.

Saat jalan berubah menjadi turunan, beban akan berkurang dan *actual speed* akan meningkat. Sang sopir menyadari bahwa *actual speed* melebihi *desired speed*, sehingga sopir akan menggerakkan *throttle* untuk menurunkan kecepatan sehingga penggunaan bahan bakar menurun dan *actual speed* kembali sama dengan *desired speed*.

Jadi governor melakukan hal yang sama dengan sang sopir, yaitu menggunakan *feedback*. Proses *close feedback* inilah yang mengatur perubahan jumlah bahan bakar, berdasarkan pada kondisi *desired speed* yang telah dicapai. Pengaturan kecepatan akan mencegah kecepatan yang menjadi *overshoot* atau *undershoot*, dan dikenal dengan istilah menstabilkan *engine*.

2.9.2. Dasar-Dasar Speed Governing



Gambar 2.8 Sistem sederhana penggambaran prinsip kerja governor

Dimana:

- T_m : torsi mekanik
- T_e : torsi elektrik
- P_m : daya mekanik
- P_e : daya elektrik
- P_L : daya beban

Berdasarkan gambar 2.8 diatas dapat dipahami bahwa generator akan merespon setiap terjadi perubahan beban yang direfleksikan secara langsung sebagai perubahan torsi elektrik T_e pada output generator. Perubahan nilai torsi elektrik akan menyebabkan adanya perbedaan antara torsi elektrik dengan torsi mekanik sehingga menimbulkan variasi kecepatan [3].

2.10. Standar Pelepasan Beban

Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 terdapat dua skema yaitu skema pelepasan beban atau *load shedding* yaitu dengan 3 langkah dan 6 langkah. Pada standar ANSI/IEEE C37.106-1987 sistem kelistrikan menggunakan frekuensi 60 Hz karena pada tugas akhir ini menggunakan sistem 50 Hz. Sehingga perlu mentransformasi standar ANSI/IEEE C37.106-1987 dalam bentuk % sehingga dapat digunakan untuk frekuensi 50 Hz [11].

Dalam tugas akhir ini penerapan pelepasan beban menggunakan skema tiga langkah. Hal yang harus diperhatikan dalam pelepasan 3 langkah, apabila terjadi gangguan yang membuat kekurangan suplai daya atau sistem tidak stabil maka pelepasan beban tidak harus dilakukan 3 langkah. Namun 3 langkah ini adalah maksimal pelepasan beban sehingga apabila pelepasan beban pada 1 atau 2 langkah mampu membuat sistem menjadi stabil dan masih dalam standart yang ada, maka skema *load shedding* 1 atau 2 langkah saja yang dilakukan.

Tabel 2.1 Skema *load shedding* 3 langkah standar ANSI/IEEE C37.106-1987

Langkah	Frekuensi Trip (Hz)		Persentase frekuensi (%)	Persentase Beban Lepas (%)	Time Delay (cycle)
	Sistem 60 Hz	Sistem 50 Hz			
1	59.3	49.41	98.83	10	6
2	58.9	49.08	98.16	15	6
3	58.5	48.75	97.5	Sebanyak yang dibutuhkan sebelum 97 %	-

Pada tabel 2.1 dapat diperhatikan bahwa pada *load shedding* 3 langkah, *load shedding* pertama dilakukan ketika frekuensi 98.83%, besar beban yang dilepas adalah 10% dari beban total, dan waktu CB membuka adalah 0,12 s. Apabila dengan *load shedding* pertama sistem belum stabil maka diperlukan *load shedding* kedua. *Load shedding* kedua dilakukan ketika frekuensi 98.16%, besar beban yang dilepas adalah 15% dari beban total. Seperti pada langkah pertama jika dengan dilakukannya *load shedding* tahap 2 sistem belum stabil, maka perlu dilakukan *load shedding* ketiga. *Load shedding* ketiga dilakukan ketika frekuensi sistem 97,5 % dan besar beban yang dilepas disesuaikan dengan kekurangan suplai daya dari *load shedding* kedua.

[Halaman Ini Sengaja Dikosongkan]

BAB III

PEMODELAN SISTEM *MICRO GRID*

KOTA PAYAKUMBUH

3.1. Sistem Distribusi Listrik Kota Payakumbuh

Pada kota Payakumbuh sistem distribusi listrik yang digunakan adalah sistem distribusi radial. Pada sistem ini sumber listrik dari grid PLN dan generator akan disalurkan pada setiap bus dengan rating tegangan 20 kV dan kemudian akan diturunkan pada tegangan 0.4 kV.

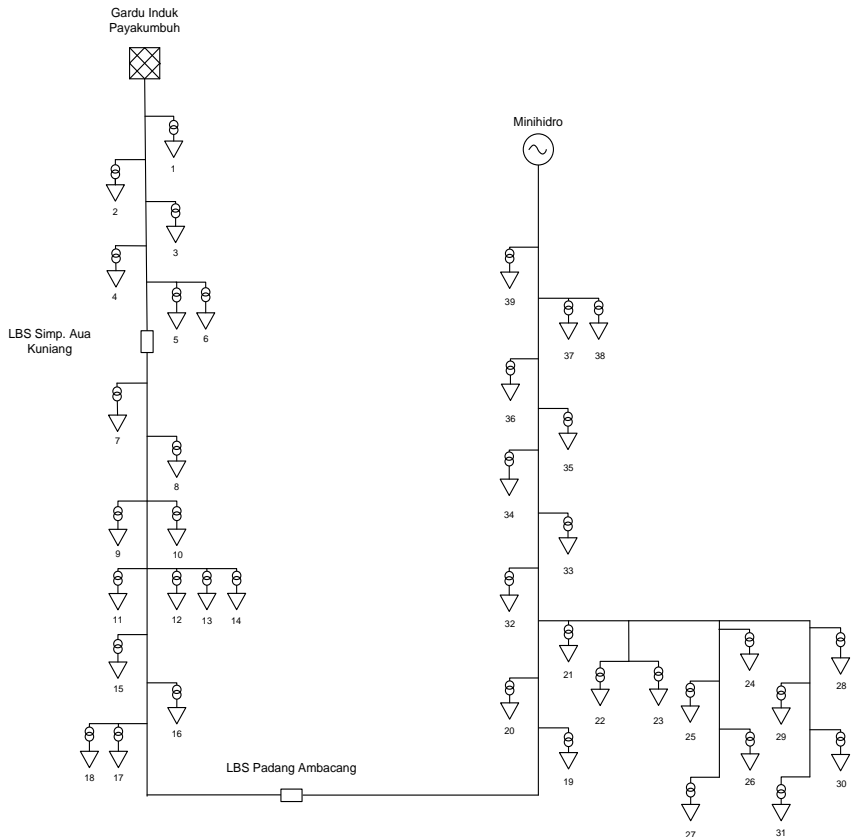
Sistem distribusi listrik kota Payakumbuh memiliki beberapa *feeder* atau penyulang, namun untuk tugas akhir ini hanya menggunakan tiga *feeder* saja yaitu *feeder* Aua Kuniang, *feeder* Sicincin, dan *feeder* Pakan Sinayan.

Total beban dari ketiga *feeder* ini kurang lebih 5.7 MW ditanggung oleh *grid* PLN, namun dalam memodelkan sistem distribusi agar menjadi sebuah sistem *Micro-Grid* akan dipasangkan beberapa *Distributed Generation* diantaranya, pembangkit listrik tenaga minihidro pada *feeder* Aua Kuniang, pembangkit listrik tenaga diesel pada *feeder* Sicincin, dan pembangkit listrik tenaga surya pada *feeder* Pakan Sinayan.

3.2. *Single Line Diagram* dan Data Beban

3.2.1. *Feeder* Aua Kuniang

Feeder Aua Kuniang memiliki tiga pembagian lokasi beban yang dipisah oleh dua Load Break Switch (LBS). LBS pertama terletak pada simpang Aua Kuniang selanjutnya LBS kedua terletak di Padang Ambacang sesuai yang tertera pada gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.1 *Single Line Diagram feeder Aua Kuning*

Jumlah dan nilai beban yang terdapat pada *feeder* Aua Kuning dapat dirincikan pada tabel 3.1 dibawah ini :

Tabel 3.1 *Data beban feeder Aua Kuning*

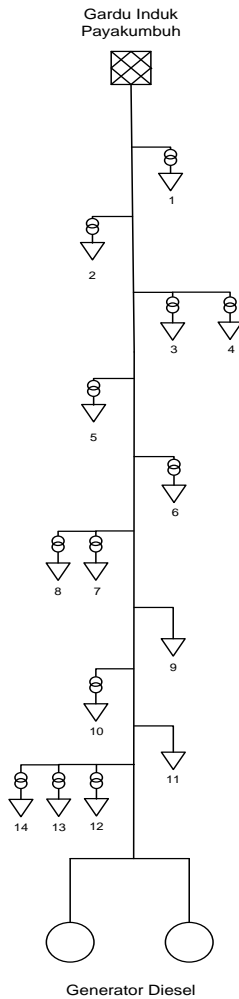
No	Nama Daerah	Power (KVA)	kV
1	PR-Aur Kuning	100	0.4
2	Aur Kuning	160	0.4
3	Sisip Aur Kuning	50	0.4
4	SIMP-Aur Kuning	160	0.4

Tabel 3.1 Data beban *feeder* Aua Kuniang (lanjutan)

5	Tj Pauh	200	0.4
6	PR-Tj Permai	160	0.4
7	Sawah Padang	50	0.4
8	Padang KArambia	50	0.4
9	Sisip Limbukan	50	0.4
10	Limo Kaum	100	0.4
11	PBR-Koto Tuo	100	20
12	Luruang	16	0.4
13	Puti Selo	25	0.4
14	Makam Cino	25	0.4
15	SIMP-Limbukan	100	0.4
16	Balai Panjang	100	0.4
17	Kbg Gajah	160	0.4
18	Sisip Kbg Gajah	50	0.4
19	Limau Rimbun	50	0.4
20	Padang Ambacang	160	0.4
21	Situjuh	100	0.4
22	Pdg. Kuniang	50	0.4
23	Sikabu	50	0.4
24	Situjuh Gadang	50	0.4
25	Kaciak	50	0.4
26	Pdg. Jariang 1	50	0.4
27	Pdg. Jariang 2	50	0.4
28	Manggis	25	0.4
29	Tj. Simantuang	25	0.4
30	Tj. Bungo Bawah	50	0.4
31	Tj. Bungo	50	0.4
32	Banda Dalam	100	0.4
33	Talaweh	50	0.4
34	Subarang Tabek	25	0.4
35	Aia Taganang	25	0.4
36	Jilatang	25	0.4
37	Baboy	50	0.4
38	Kubang Bunguk	25	0.4
39	Ladang Laweh	100	0.4

3.2.2. Feeder Sicincin

Feeder Sicincin tidak memiliki cakupan daerah yang luas karena hanya memiliki sedikit beban, alokasi beban akan terlihat pada *single line diagram* pada gambar 3.2 berikut ini :



Gambar 3.2 *Single Line Diagram feeder Sicincin*

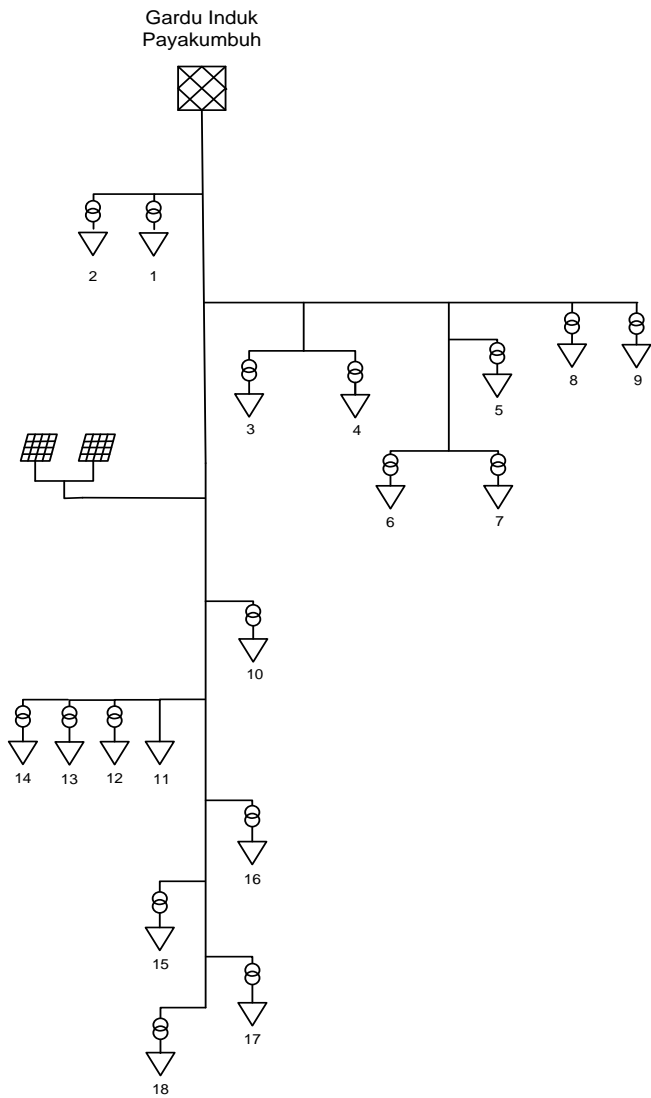
Jumlah dan nilai beban yang terdapat pada *feeder* Sicincin dapat dirincikan pada tabel 3.2 dibawah ini :

Tabel 3.2 Data beban *feeder* Sicincin

No	Nama Daerah	Power (KVA)	kV
1	Simp. BTI	160	0.4
2	SMKK	100	0.4
3	Simp. Kurnia	100	0.4
4	Simp. SMP Tiakar	50	0.4
5	Saw Mill Tiakar	50	0.4
6	Payobasung	100	0.4
7	Kaluek	50	0.4
8	Kaluek Kertas Telur	200	0.4
9	PBR. Pupuk Pybs	160	20
10	Simp. Kt Panjang	200	0.4
11	PBR. Kertas Payobasung	160	20
12	RPH Payobasung	50	0.4
13	Kt. Panjang Payobasung	50	0.4
14	Payobasung 1	100	0.4

3.2.3. *Feeder* Pakan Sinayan

Feeder Pakan Sinayan merupakan daerah pemerintahan dan perkantoran sehingga jumlah beban tidak terlalu banyak. Alokasi beban pada *feeder* Pakan Sinayan dapat dilihat pada *single line diagram* yang ditunjukkan gambar 3.3 berikut ini :



Gambar 3.3 *Single Line Diagram feeder Pakan Sinayan*

Jumlah dan nilai beban yang terdapat pada *feeder* Sicincin dapat dirincikan pada tabel 3.3 dibawah ini :

Tabel 3.3 Data beban *feeder* Pakan Sinayan

No	Nama Daerah	Power (KVA)	kV
1	Pakan Sinayan	160	0.4
2	SPBU Pakan Sinayan	160	0.4
3	Kt. Nan IV	200	0.4
4	Sisip Kubu Gadang	100	0.4
5	Terminal Kt. Nan IV	160	0.4
6	STM 2 Kt. Nan IV	100	20
7	RG Rakewi	100	0.4
8	Panyolansek	200	0.4
9	Kantor DPRD	100	0.4
10	Lingkar Ngalau	50	0.4
11	Suzuki Ngalau	50	0.4
12	Lingkar Ngalau 1	50	0.4
13	SPBU Baru	100	0.4
14	SPBE Ngalau	100	0.4
15	Kantor Balai Kota	250	0.4
16	Pdg. Tengah	50	0.4
17	SPBU Ngalau	100	0.4
18	Bukit Ngalau Indah	50	0.4

3.3. Data Grid PLN dan *Distributed Generations*

Pada penelitian ini distribusi kota Payakumbuh memiliki empat jenis sumber tenaga listrik yaitu grid PLN, generator diesel, generator minihidro, dan sel surya. Berikut ini merupakan rating sumber tenaga listrik yang digunakan sesuai pada tabel 3.4 sebagai berikut :

Tabel 3.4 Data rating grid PLN

No	Grid/Generator	Rating (kW)	Operasi		Mode
			kW	kVAR	
1	Grid PLN	-	2.940	994	Swing
2	Minihidro	3650	1500	726	PF Control
3	Diesel 1	500	400	248	PF Control

4	Diesel 2	500	400	248	PF Control
5	Sel Surya 1	250	231	63	PF Control
6	Sel Surya 2	250	231	63	PF Control

3.3.1. Grid PLN

Grid PLN merupakan sumber utama yang digunakan pada sistem distribusi kota Payakumbuh. Sumber ini berasal dari gardu induk kota Payakumbuh. Data rating grid PLN yang digunakan sesuai pada tabel 3.4 sebagai berikut :

Tabel 3.5 Data rating grid PLN

No	Komponen	Nominal
1	MVAsc 3 Fasa	997.98
2	MVAsc 1 Fasa	716.21
3	X/R 3 Fasa	3.75
4	X/R 1 Fasa	0.28
5	kAsc 3 Fasa	3.841
6	kAsc 1 Fasa	2.757

3.3.2. Generator Minihidro

Pada tugas akhir ini memodelkan generator minihidro sebagai jenis DG yang berkapasitas paling besar yaitu 3.65 MW dengan menggunakan jenis AEM Dessau model SE 630 SA10. Data rating generator minihidro dapat dilihat pada tabel 3.6 berikut:

Tabel 3.6 Data rating generator minihidro

No	Komponen	Nominal
1	MW	3.65
2	kV	6.3
3	%PF	85
4	%Eff	95
5	Poles	10
6	RPM	600
7	Inertia (H)	1.5

3.3.3. Generator Diesel

Pada tugas akhir ini menggunakan generator diesel berkapasitas 2 x 500 kW dengan jenis Honny Power model HGM688. Data rating generator diesel dapat dilihat pada tabel 3.7 berikut :

Tabel 3.7 Data rating generator diesel

No	Komponen	Nominal
1	Kapasitas (kW)	500
2	Tegangan (kV)	0.4
3	Power faktor (%PF)	80
4	Efisiensi (%Eff)	95
5	Poles	3
6	Kecepatan putaran (RPM)	1500
7	Inertia (H)	1.2

3.3.4. Sel Surya

Pada tugas akhir ini menggunakan sel surya dengan rating panel surya jenis Suniva model ART245-60-3-1. Sel surya dipasang secara seri dan paralel menyesuaikan dengan kebutuhan tegangan dan arus sistem. Rating panel surya dapat dilihat pada tabel 3.8 berikut :

Tabel 3.8 Data rating panel surya

No	Komponen	Nominal
1	Daya (W/panel)	239.7
2	Efisiensi (%Eff)	14.9
3	Pemasangan Seri	25
4	Pemasangan Paralel	40
5	Tegangan DC (Volt)	766.25
6	Arus DC (Amper)	312.8

Sementara itu inveter yang digunakan pada sel surya ini adalah jenis ABB model PVS800-57-0250kW-A. Rating inverter dapat dilihat pada tabel 3.9 berikut :

Tabel 3.9 Data rating inverter sel surya

No	Parameter	Nominal
1	Daya puncak (kW_{peak})	250
2	Tegangan DC (Volt)	850
3	Arus DC (Amper)	352.9

Tabel 3.9 Data rating inverter sel surya (lanjutan)

4	Efisiensi (%Eff)	98
5	Tegangan AC (Volt)	400
6	Arus AC (Amper)	353.6

3.4. Pemodelan Governor

Tugas akhir ini bersifat rancangan sehingga governor yang diterapkan pada pembangkit menggunakan sample data yang umumnya digunakan pada masing-masing generator tersebut. Pada rancangan sistem Micro-Grid kota Payakumbuh, terdapat dua tipe governor yang digunakan. Hal ini dikarenakan adanya 2 jenis turbin yang digunakan yaitu turbin diesel dan turbin minihidro.

Pada tugas akhir ini pemodelan governor generator minihidro menggunakan tipe *General Purpose* (GP). *General Purpose* (GP) merupakan jenis governor yang sederhana dan belum diklasifikasikan secara spesifik. Data governor yang digunakan pada minihidro dapat dilihat pada tabel 3.10 berikut :

Tabel 3.10 Data governor generator minihidro

No	Parameter	Definisi	Nominal
1	Droop	Steady-state speed droop (%)	5
2	Pmax	Daya maksimum shaft (MW)	3.842
3	Pmin	Daya minimum shaft (MW)	0
4	Ta	Waktu konstan aktuator (Sec)	0
5	Tc	Waktu konstan reset Governor (Sec)	0.1
6	Tdrp	Waktu konstan sensor beban (Sec)	5
7	Tsr	Waktu konstan rele kecepatan (Sec)	0.15
8	Tt	Waktu konstan rele turbin	0.1

Adapun governor yang digunakan pada generator diesel yaitu tipe *woodward* UG-8. Model ini mencakup representasi untuk *Ball Head Filter*, *amplifier/compensator*, dan *diesel engine*. Data governor yang digunakan pada generator diesel 1 dan diesel 2 dapat dilihat pada tabel 3.11 berikut :

Tabel 3.11 Data governor generator diesel 1 dan diesel 2

No	Parameter	Definisi	Nominal
1	Ad	Permanen droop constant (rpm/in)	58.2
2	Pmax	Daya maksimum shaft (kW)	526
3	Pmin	Daya minimum shaft (kW)	0
4	A1	Compensator constant (rad/Sec)	73.3
5	A2	Compensator constant (rad/Sec)	0.195
6	A3	Compensator constant (rad/Sec)	0.4
7	B1	Ball head filter constant	4.2
8	B2	Ball head filter constant	110.3
9	C1	Governor drive ratio	1457
10	T7	Engine dead time constant (Sec)	0.15
11	T8	Fuel value time constant (Sec)	0.1

3.5. Pemodelan *Exciter*

Tipe exciter yang digunakan pada generator di rancangan sistem *Micro Grid* kota Payakumbuh ini adalah tipe 2. Berikut adalah data *setting exciter* pada setiap generator dapat dilihat pada tabel 3.12 berikut :

Tabel 3.12 Data *exciter* generator minihidro, diesel 1, dan diesel 2

No	Parameter	Minihidro	Diesel 1	Diesel 2
1	VRmax	17.5	17.5	17.5
2	VRmin	-15.5	-15.5	-15.5
3	SEmax	1.65	1.65	1.65
4	SE.75	1.13	1.13	1.13
5	Efdmax	6.6	6.6	6.6
6	KA	250	250	250
7	KE	1	1	1
8	KF	0.06	0.06	0.06
9	TA	0.03	0.03	0.03
10	TE	1.25	1.25	1.25
11	TF1	1	1	1
12	TF2	0.1	0.1	0.1
13	TR	0.005	0.005	0.005

Keterangan :

VRmax	= Nilai maksimum tegangan ouput generator	(p.u)
VRmin	= Nilai output tegangan minimum generator	(p.u.)
SEmax	= Nilai fungsi eksitasi pada Efdmax	
SE.75	= Nilai fungsi eksitasi pada 0.75 Efdmax	
Efdmax	= Tegangan output maksimum eksiter	(p.u)
KA	= <i>Regulator gain</i>	(Sec)
KE	= <i>Exciter constant for self-excited field</i>	(Sec)
KF	= <i>Regulator stabilizing circuit gain</i>	(Sec)
TA	= <i>Regulator amplifier time constant</i>	(Sec)
TE	= <i>Konstanta waktu exciter</i>	(Sec)
TF1	= <i>Regulator stabilizing circuit first time constant</i>	(Sec)
TF2	= <i>Regulator stabilizing circuit second time constant</i>	(Sec)
TR	= <i>Regulator input filter time constant</i>	(Sec)

BAB IV

SIMULASI DAN ANALISIS STABILITAS TRANSIEN PADA SISTEM *MICRO GRID*

4.1. Sistem Kelistrikan Micro Grid kota Payakumbuh

Rancangan sistem kelistrikan *Micro-Grid* kota Payakumbuh dimodelkan dengan menggunakan *software* ETAP dan dibuat menyerupai kondisi riil dilapangan hanya saja pada sistem ini ditambahkan beberapa pembangkit tersebar atau *Distributed Generation* pada beberapa penyulang. Hal ini dilakukan agar hasil perhitungan dan analisis dapat memberikan nilai yang sesungguhnya agar bisa dijadikan rekomendasi di lapangan. Setelah pemodelan sistem kelistrikan didapat, maka selanjutnya akan dilakukan simulasi stabilitas transien pada sistem *Micro-Grid* kota Payakumbuh sesuai dengan studi kasus yang telah direncanakan.

4.2. Studi Kasus Stabilitas Transien

Pada simulasi stabilitas transien ini akan dianalisis respon beberapa parameter hasil simulasi. Pada simulasi ini juga akan ditampilkan *plot* beberapa bus yang dijadikan acuan respon terhadap gangguan yang terjadi.

Pada studi kasus stabilitas transien pada tugas akhir ini difokuskan pada jenis gangguan *short circuit* 3 fasa. Namun, akan dilakukan juga simulasi gangguan 1 fasa ke tanah untuk menjadi bahan pembanding. Pemilihan bus yang terganggu (*fault*) dipilih secara acak untuk beberapa kasus. Selain itu pada tugas akhir ini akan melihat pengaruh DG yang tidak menyuplai pada sistem ketika terjadi gangguan.

Dari skema gangguan yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dibuatlah beberapa kasus yang akan disimulasikan. Berikut ini adalah daftar kasus dari simulasi stabilitas transien sesuai pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Daftar studi kasus

No	Nama Kasus	Keterangan
1	All_On	Semua sumber pada sistem On gangguan 3 fasa recloser
2	MH_Off	Generator minihidro Off gangguan 3 fasa recloser

Tabel 4.1 Daftar studi kasus (lanjutan)

3	SC3P_ISLD	Gangguan 3 fasa yang menyebabkan operasi <i>islanded</i>
4	SC3P_ISLD_LS	Gangguan 3 fasa menyebabkan <i>islanded</i> pada penyulang sicincin dan <i>load shedding</i>
5	All_1Phase	Semua sumber On gangguan 1 fasa

Dari pemaparan tabel 4.1 tersebut masing-masing kasus dapat dirincikan pada tabel 4.2 berikut ini :

Tabel 4.2 Rincian studi kasus stabilitas transien

Kasus		Keterangan Kasus	Aksi	Waktu (detik)	Daya
1	All_On	Hubung singkat bus 58	Bus 58 <i>fault</i>	3	-
		Gangguan <i>outgoing</i>	Bus 58 <i>clear fault</i>	3.3	-
2	MH_Off	Generator minihidro trip	Minihidro <i>delete</i>	2	3,65 MW
		Hubung singkat bus 51	Bus 51 <i>fault</i>	5	-
		Gangguan <i>outgoing</i>	Bus 51 <i>clear fault</i>	5.3	-
3	SC3P_ISLD	Hubung singkat pada bus 2 di lokasi LBS Simp. Aua Kuniang	Bus 2 <i>fault</i>	3	-

Tabel 4.2 Rincian studi kasus stabilitas transien (lanjutan)

		Gangguan <i>outgoing</i>	CB 5 <i>trip</i>	3.3	-
			CB 7 <i>trip</i>	3.3	-
		Generator minihidro berubah swing	Minihidro <i>isoch</i>	3.5	3,65 MW
4	SC3P_ISLD_LS	Hubung singkat bus 120	Bus 120 fault	3	-
		Gangguan <i>outgoing</i>	CB 15 <i>trip</i>	3.3	-
			CB 23 <i>trip</i>	3.3	-
		Generator diesel berubah swing	Diesel 1 <i>isoch</i>	3.5	-
			Diesel 2 <i>isoch</i>	3.5	-
		<i>Load shedding</i> tahap 1	CB 24 <i>trip</i>	3.681	160 kVA
		<i>Load shedding</i> tahap 2	CB 26 <i>trip</i>	3.701	250 kVA
		<i>Load shedding</i> tahap 3	CB 27 <i>trip</i>	3.741	300 kVA
			CB 32 <i>trip</i>		
5	All_1Phase	Hubung singkat <i>line to ground</i> bus 51	Bus 65 LG <i>fault</i>	3	-
		Gangguan <i>outgoing</i>	CB 33 <i>trip</i>	3.3	-

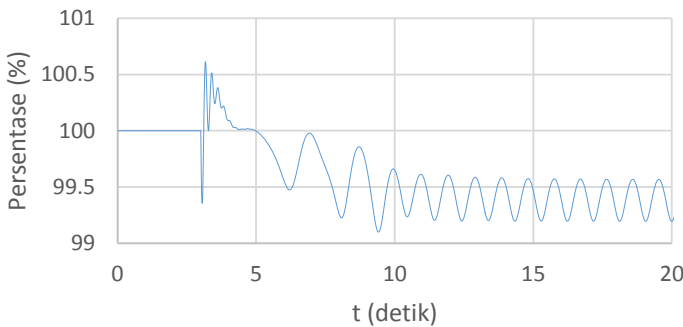
4.3. Simulasi Stabilitas Transien

Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai analisa hasil dari simulasi stabilitas transien setiap studi kasus yang dijalankan dilengkapi

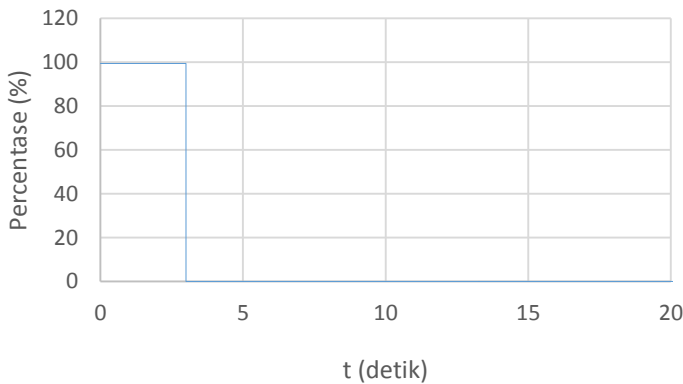
dengan gambar respon frekuensi dan tegangan dari hasil simulasi untuk memperjelas analisa.

4.3.1 Studi Kasus All_On

Pada studi kasus ini akan ditunjukkan hasil simulasi pada saat hubung singkat 3 fasa pada bus 58 didekat beban Situjuh pada detik ke-3 ($t = 3$ s). Pada kasus ini semua generator dalam keadaan *on*. Gambar 4.1 dan gambar 4.2 menunjukkan respon frekuensi dan tegangan pada bus 58 saat terjadi hubung singkat :



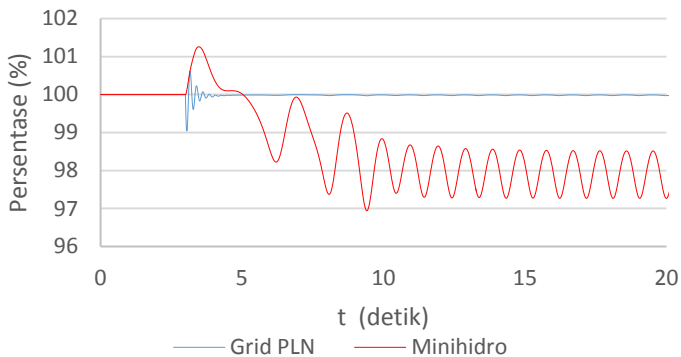
Gambar 4.1 Respon frekuensi pada bus 58 saat terjadi hubung singkat 3 fasa



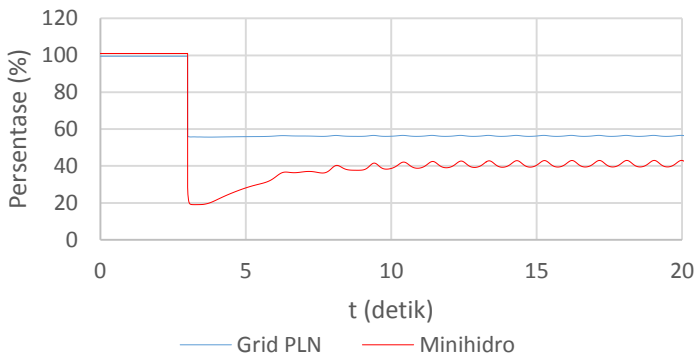
Gambar 4.2 Respon tegangan pada bus 58 saat terjadi hubung singkat 3 fasa

Pada gambar 4.1 terlihat frekuensi sistem mengalami perubahan dan pada detik ke-8,081 frekuensi sistem mulai mengalami fluktuasi pada nominal 99.2 % atau 49,6 Hz hingga 99.6 % atau 49.8 Hz. Sementara itu gambar 4.2 menunjukkan bentuk tegangan bus yang mengalami hubung singkat, terlihat tegangan akan menuju titik nol pada saat terjadi hubung singkat dan hal ini akan terjadi terus menerus selama gangguan belum di netralisir atau di atasi.

Hubung singkat pada bus 58 berdampak pada generator-generator pada sistem. Generator yang paling merasakan dampak terjadinya hubung singkat pada bus 58 adalah generator minihidro. Sementara, generator lainnya akan mengikuti Grid PLN. Kondisi perbandingan respon frekuensi dan tegangan Grid PLN dan generator dapat dilihat sebagai berikut :

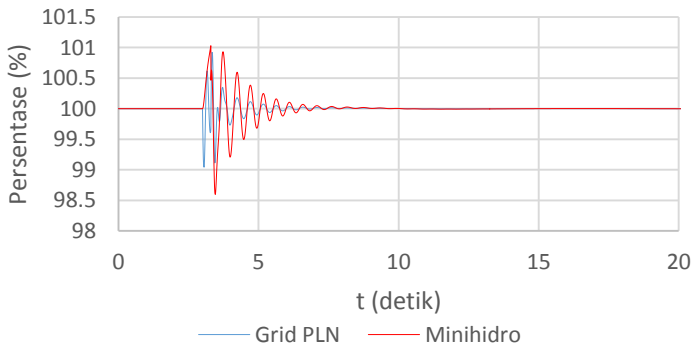


Gambar 4.3 Respon frekuensi Grid PLN dan generator minihidro saat terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 58



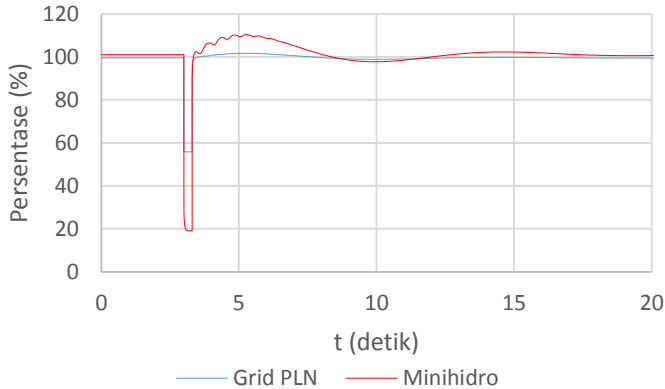
Gambar 4.4 Respon tegangan Grid PLN dan generator minihidro saat terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 58

Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 kondisi pada gambar 4.3 dan gambar 4.4 tidak boleh dibiarkan karena bisa membahayakan peralatan sehingga perlu adanya penanganan pada hubung singkat agar sistem kembali stabil. Pada kasus ini bentuk penyelesaian dilakukan dengan *clear fault* pada bus 58 sehingga dampak yang terjadi dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.5 Respon frekuensi Grid PLN dan generator minihidro setelah gangguan dinetralisir

Pada gambar 4.5 terlihat frekuensi sistem stabil setelah gangguan dinetralisir, walaupun ada sedikit osilasi namun osilasi ini masih berada pada ambang batas yang ditentukan berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987.

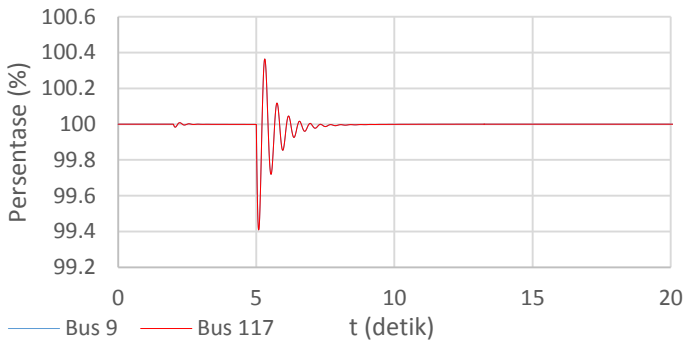


Gambar 4.6 Respon tegangan Grid PLN dan generator minihidro setelah gangguan dinetralisir

Sementara itu pada gambar 4.6 menunjukkan tegangan sistem pasca gangguan dinetralisir terjadi sedikit lonjakan dengan nilai puncak 110.38 % namun kondisi ini masih diizinkan pada standar IEEE 1159-195 karena durasi terjadinya masih belum mencapai 3 detik.

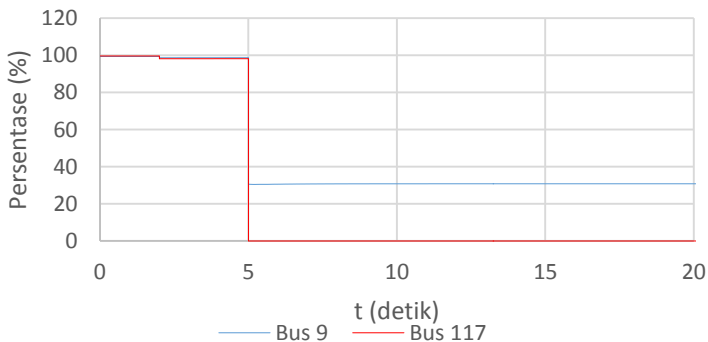
4.3.2 Studi Kasus MH_Off

Pada studi kasus ini akan mengamati dan menganalisis repons sistem *Micro Grid* ketika terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 51 yaitu di LBS Padang Ambacang, penyulang Aua Kuniang pada detik ke-5 ($t = 5$) pasca generator minihidro *trip* pada detik ke-2 ($t = 2$) sesuai dengan penjelasan pada tabel 4.2. Sebagai parameter akan ditampilkan bus 9 mewakili bus yang dekat dengan *grid* PLN dan bus 117 mewakili bus yang dekat dengan generator minihidro, berikut hasil simulasinya :



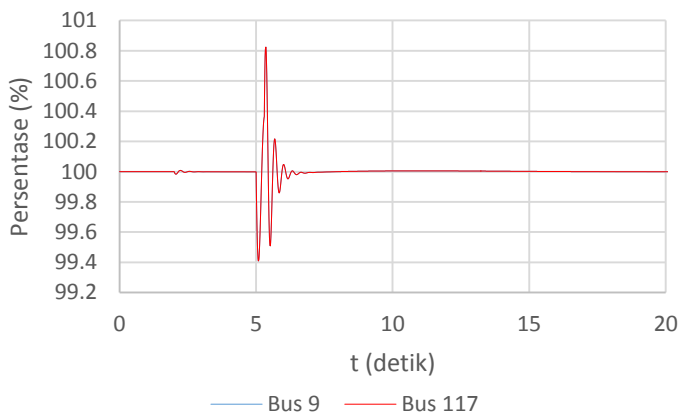
Gambar 4.7 Respon frekuensi bus 9 dan bus 117 saat terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 51

Hasil simulasi pada gambar 4.7 memperlihatkan lepasnya generator minihidro tidak memperngaruhi secara signifikan pada frekuensi sistem. Lepasnya generator minihidro hanya menyebabkan frekuensi bus 9 dan 117 turun menjadi 49.99 Hz dalam waktu sesaat kemudian kembali normal. Sedangkan gangguan 3 fasa pada bus 51 juga tidak berpengaruh pada sistem, frekuensi sistem yang diwakilkan bus 9 dan bus 117 mengalami fluktuasi dengan dengan nilai frekuensi terendah 49.70 Hz dan frekuensi tertinggi 50.18 Hz. Frekuensi pada studi kasus ini dapat dikatakan stabil karena sistem terkoneksi dengan *grid* PLN.



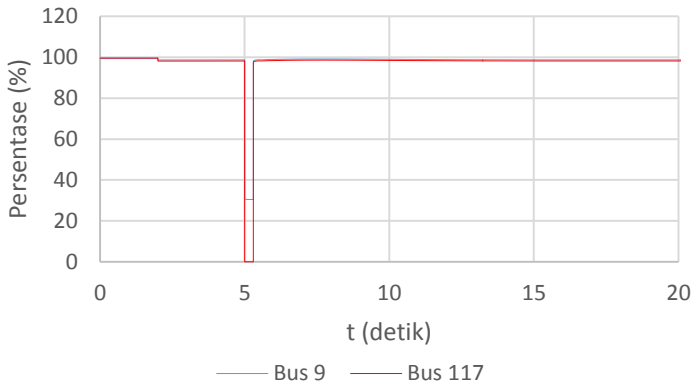
Gambar 4.8 Respon tegangan bus 9 dan bus 117 saat terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 51

Adapun pada parameter tegangan hasil simulasi pada gambar 4.8 menunjukkan, lepasnya generator minihidro berdampak pada turunnya nilai tegangan dari 99.67 % menjadi 98.19 %. Penurunan yang terjadi masih berada pada batas standar operasi berdasarkan IEEE 1159-195. Selanjutnya ketika terjadi hubung singkat pada bus 9 tegangan akan turun menjadi 30.47% dan pada bus 117 tegangan turun menjadi 0 %. Perbedaan ini disebabkan pada bus 9 masih disuplai oleh *grid* PLN sedangkan bus 117 tidak memiliki suplai karena berada dekat dengan generator minihidro. Respon sistem ketika gangguan pada bus 51 dinetralsir dapat dilihat pada hasil simulasi berikut :



Gambar 4.9 Respon frekuensi bus 9 dan bus 117 saat hubung singkat 3 fasa pada bus 51 di netralsir

Setelah gangguan dinetralsir pada detik ke 5.3 ($t = 5,3$) frekuensi sistem yang diwakili bus 9 dan bus 117 akan melonjak naik pada nilai 50.41 Hz dan sedikit berfluktuasi kurang lebih selama 16 *cycle* kemudian akan mencapai kondisi normal kembali, sehingga tidak perlu adanya tindak lanjut untuk menanggapi respon yang terjadi.



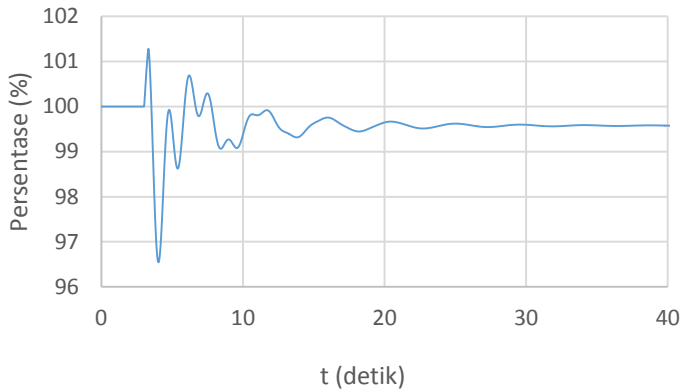
Gambar 4.10 Respon tegangan bus 9 dan bus 117 saat hubung singkat 3 fasa pada bus 51 dinetralisir

Respon tegangan setelah gangguan pada bus 51 dinetralisir dapat terlihat pada gambar 4.10 yang menunjukkan sistem yang stabil tanpa terjadinya fluktuasi pasca *fault clear*. Hal ini disebabkan karena bus 9 dan bus 117 pasca terjadinya gangguan akan disuplai oleh *grid* PLN yang mana memiliki tingkat kestabilan yang tinggi.

4.3.3 Studi Kasus SC3P_ISLD

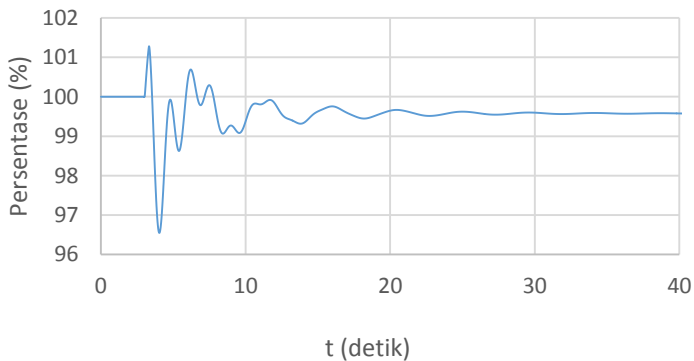
Pada studi kasus ini akan dilakukan simulasi hubung singkat yang menyebabkan sebagian beban penyulang Aua Kuniang terpisah dari *grid* PLN, sehingga beban yang terpisah dari *grid* PLN akan disuplai oleh generator minihidro.

Event pada studi kasus ini yaitu terjadi hubung singkat 3 fasa pada bus 2 yang berada pada LBS Simp. Aua Kuniang di detik ke-3 ($t = 3$). Kemudian sistem proteksi bekerja seiring dengan CB 5 dan CB 7 yang *trip* pada detik ke 3.3 ($t = 3,3$). Hasil simulasi dari studi kasus ini dapat dilihat pada gambar 4.11 dan gambar 4.12 berikut :



Gambar 4.11 Respon frekuensi pada bus minihidro

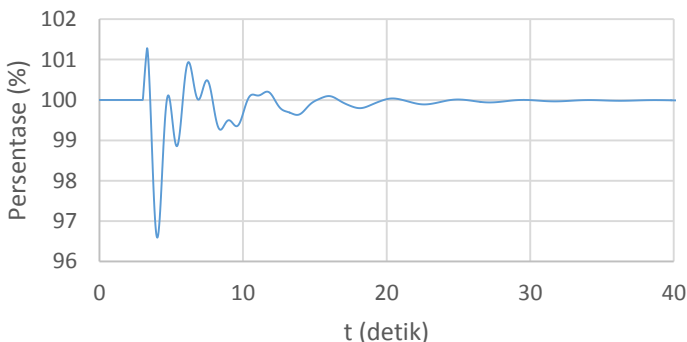
Pada gambar 4.11 terlihat terjadi fluktuasi pada frekuensi sistem yang terpisah dari *grid* PLN dengan nilai frekuensi tertinggi berada pada 101,28 % atau 50,64 Hz dan frekuensi terendah berada pada 96,54 % atau 48,27 Hz dalam hal ini tentu saja memiliki dampak pada sistem. Untuk itu karena kapasitas generator minihidro yang cukup besar pada kasus ini tidak perlu melakukan load shedding hanya saja operasi generator minihidro diubah menjadi *isochronous*.



Gambar 4.12 Respon tegangan pada bus minihidro

Selanjutnya pada gambar 4.12 menunjukkan respon tegangan pada sistem yg terpisah dari *grid* PLN. Tegangan sistem mengalami *fluktuasi* dengan nilai tertinggi 124,44 % dan nilai terendah 86.83 % kemudian sistem akan kembali ada nominal tegangannya. *Voltage swells* dan *voltage sag* yang terjadi pada sistem ini melewati batas nominal yang diizinkan hanya saja, menurut standar IEEE 1159-195 durasi dari *voltage swell* dan *voltage sag* yang terjadi tidak melebihi 3 detik maka masih diizinkan.

Melihat nilai *steady-state* frekuensi yang turun maka generator minihidro di operasikan secara *isochronous*. Berikut adalah hasil simulasi ketika generator minihidro beroperasi secara *isochronous*:



Gambar 4.13 Respon frekuensi pada bus minihidro pada minihidro operasi *isochronous*

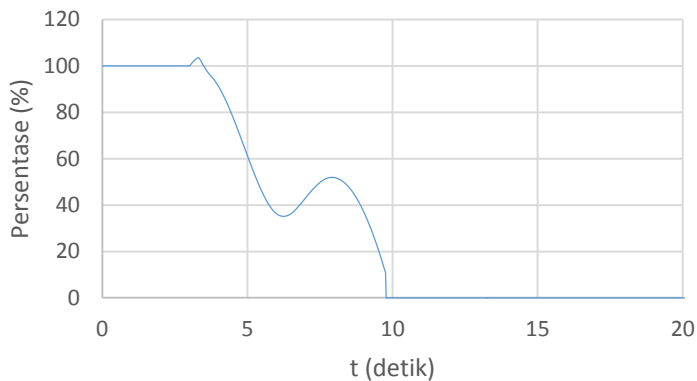
Setelah generator minihidro dioperasikan secara *isochronous* pada detik ke-3,3 ($t = 3,3$) terlihat pada hasil simulasi pada gambar 4.13 frekuensi akan kembali *steady-state* pada frekuensi 50 Hz pada detik ke-30.

4.3.4 Studi Kasus SC3P_ISLD_LS

Pada studi kasus ini akan dilakukan simulasi hubung singkat yang menyebabkan penyulang Sicincin terpisah dari *grid* PLN, sehingga beban yang terpisah dari *grid* PLN akan disuplai oleh generator diesel.

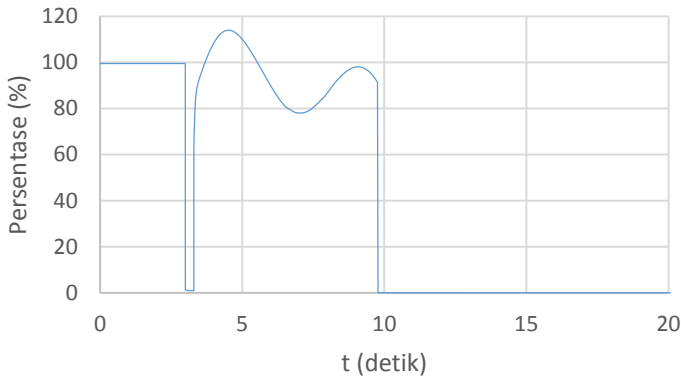
Event yang terjadi pada studi kasus ini adalah hubung singkat terjadi pada bus 120 yaitu bus utama pada penyulang Sicincin pada detik ke-3 (t

= 3) kemudian proteksi sistem akan bekerja seiring dengan CB 15 dan CB 23 yang *trip* pada detik ke-3,3 ($t = 3,3$) sehingga penyulang sicincin terpisah dari *grid* PLN. Seperti pada studi kasus sebelumnya operasi generator diesel 1 dan diesel 2 yang terdapat pada penyulang sicincin di ubah menjadi *isochronous* pada detik ke-3,3 ($t = 3,3$). Berikut hasil simulasi pada sistem yang terpisah dari grid PLN dengan parameter bus diesel sebagai berikut :



Gambar 4.14 Respon frekuensi pada bus diesel

Pada gambar 4.14 terlihat frekuensi sistem yang diwakilkan bus diesel tersebut terus mengalami penurunan hingga mencapai titik 0% pada detik ke-9,78 ($t = 9,78$). Hal ini menandakan bahwa beban yang ditanggung oleh generator diesel terlalu besar, sehingga generator tidak mampu lagi untuk membangkitkan daya dan terlepas dari sistem tersebut.



Gambar 4.15 Respon tegangan pada bus diesel

Hal yang sama juga terjadi pada tegangan sistem seperti terlihat pada gambar 4.15, walaupun tegangan sempat mengalami fluktuasi namun, akibat beban yang terlalu besar akan menyebabkan tegangan yg langsung menuju titik 0% pada detik ke-9,78 ($t = 9,78$).

Kondisi ini tentu saja sangat merugikan karena semua beban pada penyulang Sicincin tidak mendapatkan suplai (*black out*). Solusi yang dapat dilakukan seperti yang telah dijelaskan pada BAB III adalah dengan mengorbankan beberapa beban pada penyulang sehingga generator diesel 1 dan diesel 2 tetap mampu menyuplai beban-beban utama pada penyulang Sicincin.

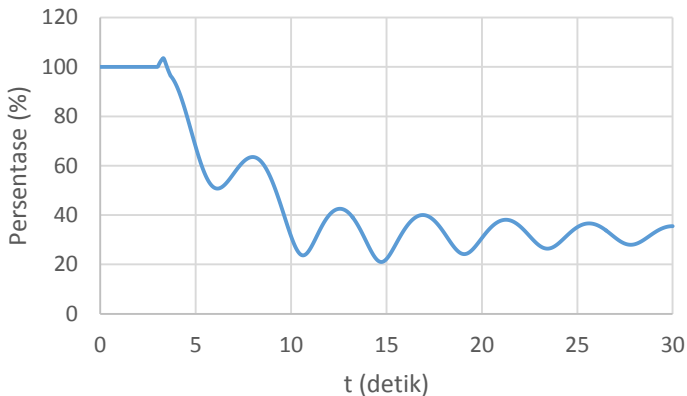
Total beban pada penyulang sicincin 1,373 MW sementara Pada simulasi ini pelepasan beban atau *load shedding* dilakukan dengan 3 langkah berdasarkan standar ANSI/IEEE C37 106-1987. Nominal *load shedding* dan beban yang dilepaskan dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut :

Tabel 4.3 Data *load shedding* penyulang Sicincin

Langkah	Frekuensi Trip (Hz)	Circuit Breaker	Waktu (detik)	Total Beban (kVA)
1	49.41 (98,82 %)	CB 24	3.681	160
2	49.12 (98.24 %)	CB 26	3.701	250
3	48.75 (97.5 %)	CB 27 CB 32	3.741	300

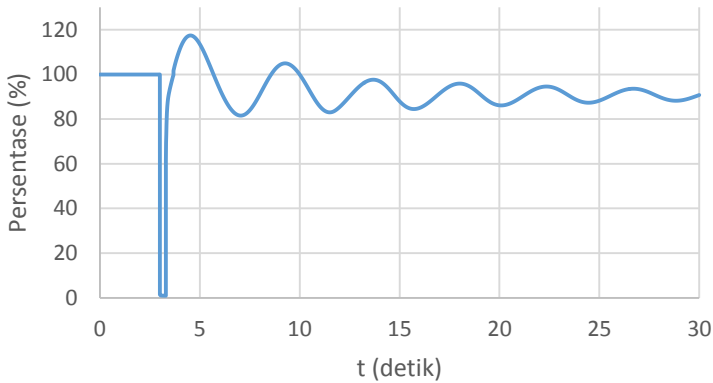
4.3.4.1. Pelepasan Beban Langkah 1

Pelepasan beban langkah pertama dilakukan pada frekuensi 49.41 Hz atau 98.82 % dilakukan pada detik ke-3,461 ($t = 3,461$) ditambah 6 cycle (0,12 detik) sehingga CB akan trip pada detik ke-3,681. Beban yang di lepas sebesar ± 10 % dari total beban 1,373 MW maka dipilih beban Simp. BTI sebesar 160 kVA yang berada dilindungi oleh CB 24. Berikut hasil simulasi pelepasan beban langkah 1 :



Gambar 4.16 Frekuensi *load shedding* langkah 1

Setelah melakukan *load shedding* langkah 1 akan terlihat frekuensi yang mulai naik seperti terlihat pada gambar 4.16. Kondisi ini belum mencapai kondisi stabil karena frekuensi masih mengalami fluktuasi dan belum mencapai kondisi *steady-state* selain itu nilai frekuensi masih berada jauh dibawah frekuensi nominal, oleh karena itu sistem ini masih membutuhkan *load shedding* langkah selanjutnya.

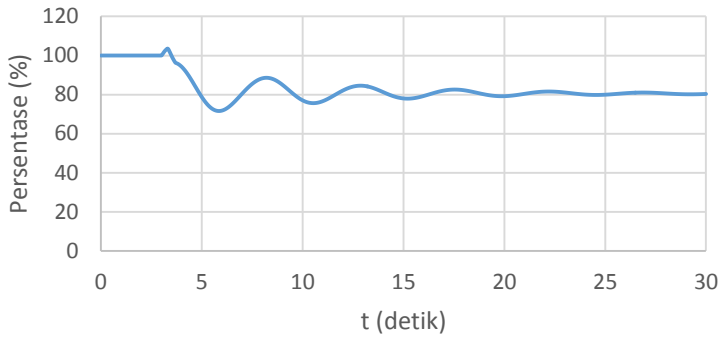


Gambar 4.17 Tegangan *load shedding* langkah 1

Melihat pada gambar 4.17 respon tegangan setelah dilakukan *load shedding* langkah 1 terlihat nominal tegangan menjadi lebih baik dari pada yang ditunjukkan gambar 4.15. Kondisi ini belum mencapai titik stabil karena tegangan belum mencapai kondisi *steady-state* dan mengalami fluktuasi sehingga masih dibutuhkan *load shedding* tahap selanjutnya agar tercapai kondisi kestabilan yang diinginkan.

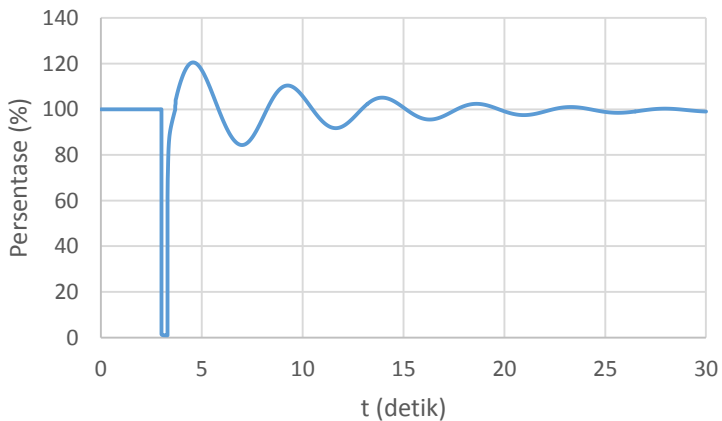
4.3.4.2. Pelepasan Beban Langkah 2

Pelepasan beban langkah kedua dilakukan pada frekuensi 49,12 Hz atau 98.24 % dilakukan pada detik ke-3,581 ($t = 3,581$) ditambah 6 *cycle* (0,12 detik) sehingga CB akan trip pada detik ke-3,701. Beban yang di lepas sebesar ± 15 % dari total beban 1,373 MW maka dipilih beban Kaluek Kertas Telur yang dilindungi oleh CB 26 sebesar 250 kVA. Berikut hasil simulasi pelepasan beban langkah 2 :



Gambar 4.18 Frekuensi *load shedding* langkah 2

Gambar 4.18 menunjukkan frekuensi sistem pasca *load shedding* langkah 2, dapat diperhatikan frekuensi semakin membaik dan mencapai titik *steady-state* pada frekuensi 80,30 % atau 41.15 Hz, namun kondisi *steady-state* ini belum menunjukkan kondisi stabil menurut standar ANSI/IEEE C37 106-1987 sehingga masih dibutuhkan *load shedding* tahap terakhir.

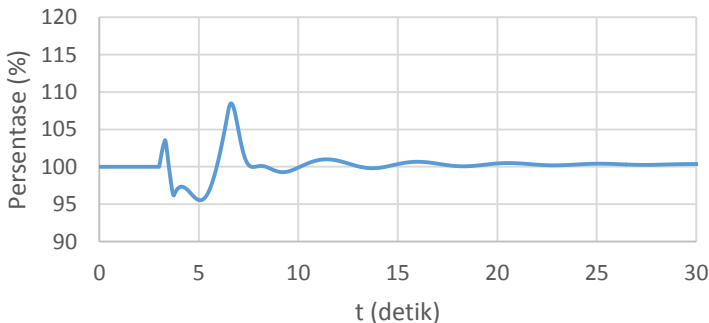


Gambar 4.19 Tegangan *load shedding* langkah 2

Berdasarkan gambar 4.19, tegangan pada sistem yang terpisah dari *grid* sudah mengalami *steady-state* pada nominal 99,09 %. Namun karena frekuensi sistem belum mencapai kondisi kestabilan yang ditentukan sehingga sistem tetap melakukan load shedding tahap terakhir.

4.3.4.3. Pelepasan Beban Langkah 3

Pelepasan beban langkah ke-3 dilakukan pada frekuensi 48,75 Hz atau 97,5 %. Pada *load shedding* atau pelepasan beban langkah 3 ini beban dilepaskan dengan jumlah yang tidak ditetapkan dengan syarat sistem bisa mencapai titik kestabilan dengan melihat parameter yang telah ditentukan. Pada simulasi *load shedding* langkah 3 ini total beban yang akan diputus 300 kVA yaitu terdiri dari CB 27 yang terdapat beban RPH Payobasung, Kt. Panjang Payobasung, dan Payobasung 1 selanjutnya CB 32 yang terdapat beban Simp. Kurnia. Kedua CB tersebut akan trip secara bersamaan pada detik ke-3,741 ($t = 3,741$). Berikut hasil simulasi pelepasan beban langkah 3 :



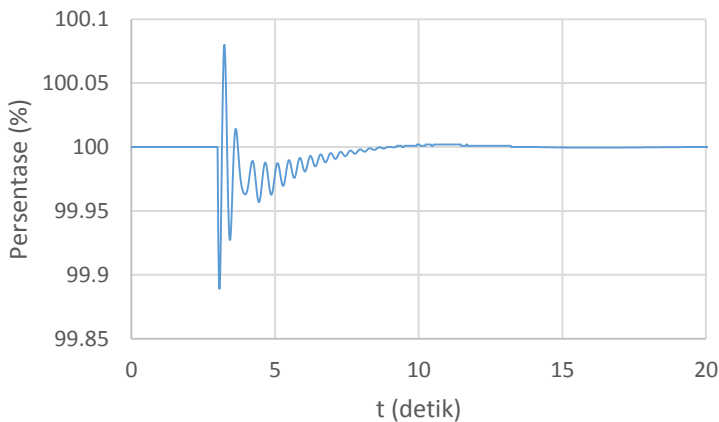
Gambar 4.20 Frekuensi *load shedding* langkah 3

Pada *load shedding* tahap 3 sistem kembali pada frekuensi normal dan *steady-state* pada 50 Hz pada detik ke-25,54 seperti terlihat pada gambar 4.. Sehingga penyulang sicincin akan stabil setelah lepas dari *grid* PLN dengan melakukan *load shedding* karena kapasitas generator diesel 1 dan diesel 2 tidak mampu menyuplai seluruh beban yang ada pada penyulang tersebut.

4.3.5 Studi Kasus All_1Phase

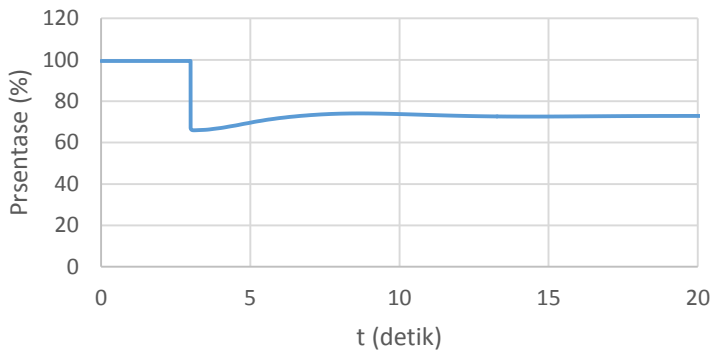
Studi kasus ini bertujuan untuk melihat dampak yang di alami sistem *Micro-Grid* apabila mengalami hubung singkat 1 fasa ke tanah. Selain itu melihat kepada fakta dilapangan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan jenis hubung singkat yang paling sering terjadi. Oleh karena itu walaupun tugas akhir ini berfokus pada hubung singkat 3 fasa namun tidak menutup kemungkinan untuk melihat fenomena-fenomena yang terjadi pada stabilitas transien pada sistem *Micro-Grid* yang disebabkan oleh hubung singkat 1 fasa ke tanah.

Pada studi kasus ini akan ditunjukan hasil simulasi pada saat hubung singkat 1 fasa ke tanah pada bus 65 yaitu pada bus yang ada pada LBS pada detik ke-3 ($t = 3$ s). Pada kasus ini semua generator dalam keadaan *on*. Gambar 4.21 dan gambar 4.22 menunjukan respon frekuensi dan tegangan pada bus 65 saat terjadi hubung singkat :



Gambar 4.21 Frekuensi bus 65 saat terjadi hubung singkat 1 fasa ke tanah

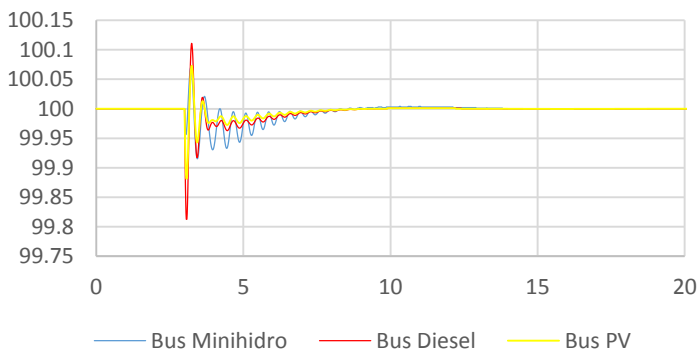
Pada gambar 4.21 yang menyatakan frekuensi hasil simulasi hubung singkat 1 fasa ke tanah terlihat bahwa terjadi fluktuasi frekuensi yang tidak begitu signifikan. Hal ini memperlihatkan seolah-olah gangguan hubung singkat 1 fasa tidak terlalu berbahaya pada sistem jika dilihat dari parameter frekuensi.



Gambar 4.22 Tegangan bus 65 saat terjadi hubung singkat 1 fasa ke tanah

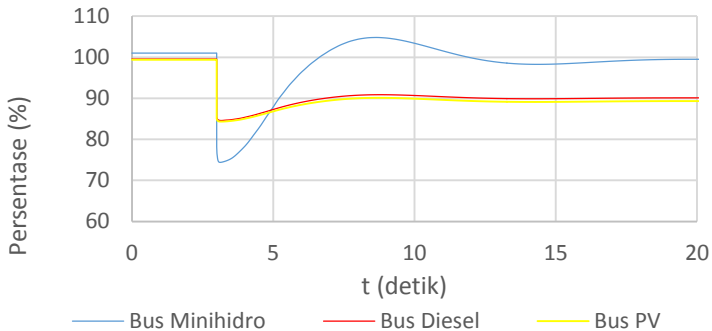
Gambar 4.22 menunjukkan hasil simulasi hubung singkat 1 fasa ke tanah terlihat bahwa hubung singkat 1 fasa ke tanah menyebabkan terjadinya *drop* tegangan pada sistem dengan *steady-state* pada nominal 72.84 %. Kondisi *drop* tegangan ini berbeda dengan fenomena hubung singkat 3 fasa dimana tegangan akan jatuh menuju titik 0 %.

Adapun dampak yang diberikan hubung singkat 1 fasa ketanah terhadap pembangkit-pembangkit yang ada pada sistem adalah sebagai berikut :



Gambar 4.23 Respon frekuensi pembangkit

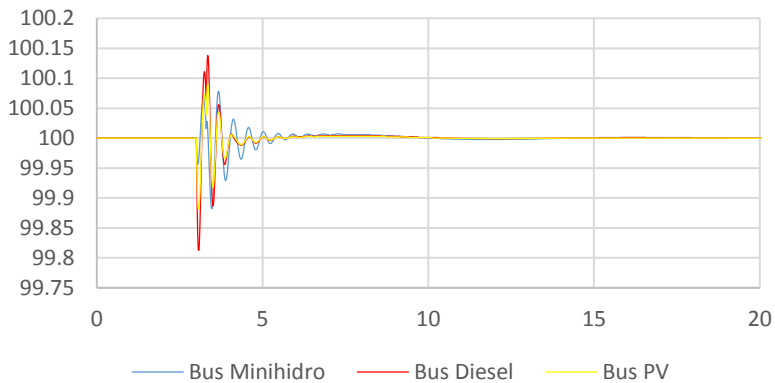
Hasil simulasi yang dinyatakan dalam gambar 4.23 memperlihatkan generator yang paling merasakan dampak adanya hubung singkat 1 fasa ke tanah adalah generator minihidro karena lokasi hubung singkat berada paling dekat dengan generator minihidro. Namun fluktuasi yang terjadi pada frekuensi masing-masing tetap saja tidak terlalu berpengaruh.



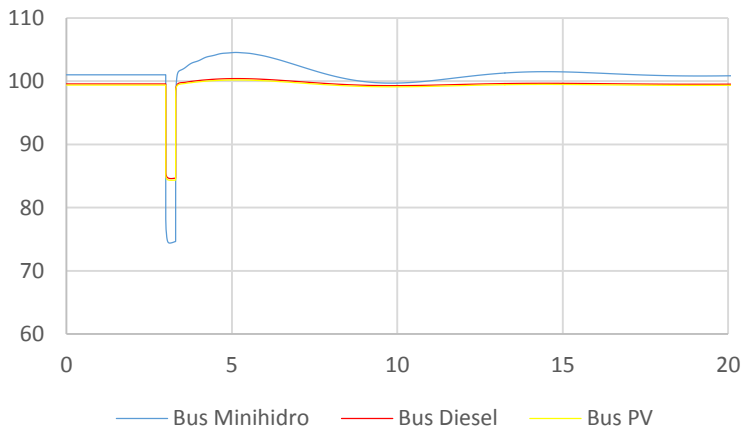
Gambar 4.24 Respon tegangan pembangkit

Gambar 2.4 menyatakan respon tegangan masing-masing generator dimana terlihat tegangan pada bus minihidro mengalami dampak yang paling besar dengan *drop* tegangan pada nominal 78.13 % sementara untuk bus diesel dan bus PV *drop* tegangan pada nominal 84,81 %. Namun karena pembangkit minihidro memiliki kapasitas yang besar maka generator minihidro mampu kembali pada titik kestabilan.

Berikut ini adalah fenomena pada frekuensi dan tegangan setelah sistem proteksi bekerja mengatasi hubung singkat 1 fasa ke tanah :



Gambar 4.25 Respon frekuensi pembangkit setelah gangguan di atasi



Gambar 4.26 Respon tegangan pembangkit setelah gangguan di atasi

Pada gambar 4.25 dan gambar 4.26 terlihat frekuensi dan tegangan sistem yang stabil setelah gangguan di atasi sehingga tidak dibutuhkan lagi penangan. Namun pada tegangan minihidro sempat terjadi voltage swells yang masih bisa di tolerir berdasarkan standar IEEE 1159-195.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis stabilitas transien akibat hubung singkat tiga fasa pada sistem *Micro Grid* dengan multiple *Distributed Generations*, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis stabilitas transien digunakan untuk melihat respon pada sistem *Micro Grid* ketika terjadi gangguan berupa hubung singkat tiga fasa dan hubung singkat satu fasa ke tanah beserta cara mengatasinya untuk mewujudkan sistem yang stabil dilihat dari parameter frekuensi dan tegangan.
2. Pada sistem *Micro Grid* terhubung dengan *grid* PLN (*utility*) yang mengalami pelepasan *Distributed Generations* (DG) akan mengalami sedikit *drop* tegangan tergantung dengan kapasitas generator yang terlepas namun sistem akan tetap stabil.
3. Respon sistem *Micro Grid* terhubung dengan *grid* PLN (*utility*) yang mengalami pelepasan *Distributed Generations* ketika terjadi hubung singkat tiga fasa atau hubung singkat satu fasa ke tanah akan stabil apabila gangguan tersebut telah hilang akibat kinerja CB dalam mengamankan sistem.
4. Gangguan hubung singkat yang menyebabkan suatu sistem terpisah dari *grid* PLN (*Islanded*) memiliki kemungkinan stabil atau tidak stabil tergantung dengan perbandingan beban dan daya yang mampu disuplai *Distributed Generations*.
5. *Load shedding* atau pelepasan beban dapat dilakukan apabila suatu sistem mengalami ketidakstabilan pasca terjadinya gangguan pada sistem tersebut.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya pada bidang sistem tenaga berdasarkan hasil simulasi dan analisis pada tugas akhir ini yaitu :

1. Perlu dikembangkan penelitian lebih lanjut mengenai stabilitas transien sistem *Micro Grid* dengan menambahkan jenis-jenis gangguan yang mungkin terjadi pada sistem distribusi dan menambahkan parameter yang diamati seperti sudut rotor dan lain-lain.
2. Perlu dikembangkan lagi penelitian yang sama dalam sistem kelistrikan *Micro Grid* dengan menambahkan komponen baterai sebagai *power balance* ketika terjadi pelepasan generator berbasis tegangan DC.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Renstra Direktorat Jendral Ketenagalistrikan 2015-2019*. .
- [2] Xinhe Chen, Wei Pei, and Xisheng Tang, "Transien Stability Analyses of Micro-Grids with Multiple Distributed Generations," *IEEE*, 2010.
- [3] Roy E. Cosse, Michael D. Alford, Masoud Hajiaghajani, and E. Roy Hamilton, "Turbine/Generator Governor Droop/Isochronous Fundamentals - A Graphical Approach," *IEEE*, Nov. 2011.
- [4] S. Chowdhury, S.P. Chowdhury, and P. Crossley, *Microgrids and Active Distribution Networks*. The Institution of Engineering and Technology, 2009.
- [5] Primaditya Sulistijono, "Emission dan Economic Dispatch pada Sistem Kelistrikan Micro Grid menggunakan Multiobjective Genetic Algorithm Optimization," Institut Teknologi Sepuluh Nopember.Surabaya: 2014.
- [6] Rr Sri Sukarni Katamwatiningsih, "Pengaruh Ketinggian dan Debit Air Terhadap Energi Listrik yang di Hasilkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)," 2014.
- [7] Sachin Mishra, S. K Singal, and D. K Khatod, "Costing of a Small Hydropower Projects," *IACSIT Int. J. Eng. Technol.*, vol. Vol 4, Jun. 2014.
- [8] Zhongmei Pan, Meng Shi, Yanlin Wu, and Xiangqian Tong, "Probabilistic Load Flow of Islanded Microgrid with Droop-Controlled Distributed Generations," *IEEE*, 2016.
- [9] Muhammad Faishal Adityo, "Analisis Kestabilan Transien pada Sistem Kelistrikan PT.Pupuk Kalimantan Timur (Pabrik KALTIM 1), Akibat Pengaktifan Kembali Pembangkit 11 MW," Institut Teknologi Sepuluh Nopember.Surabaya: 2012.
- [10] Power System Simulation Laboratory, "Diktat Pelatihan Stabilitas Transien." .
- [11] IEEE Standards, "ANSI/IEEE C37.106-1987 - IEEE Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants." 12-Sep-1986.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

I. Data Sheet Sel Surya



Suniva® ART245-60-3 Monocrystalline Solar Modules



Technology

The ART245-60-3 crystalline solar modules are powered by high-efficiency monocrystalline cells manufactured by Suniva® Inc., in the USA. The modules provide excellent value and performance for operation of both DC loads and in an inverter-equipped system for AC loads. The rated output and the efficient design of these modules are ideally suited for high power applications, such as grid-tied systems.

The module is designed for easy interconnection to achieve voltage and current configurations for grid-connected systems as well as stand-alone systems.

Module Design

High-efficiency 6-inch (156 mm) monocrystalline solar cells form the core of the module. These 156 mm pseudosquare cells offer a homogeneous appearance, optimal use of the area, and are known for high-energy yields. The use of tempered glass, EVA encapsulant, and a multi-layer FPE backside barrier film protect the module and cells from harsh environmental conditions. A torsion-resistant module frame made of anodized aluminum provides high mechanical strength, making the module resistant to snow and extreme wind and hail.

Quality

Suniva® modules are manufactured and warranted through our assembly partners, who have years of experience in module manufacturing and built-in quality management systems in compliance with the International Quality System Standard ISO 9001-2000. Each module goes through quality assurance, visual inspections and mechanical and electrical tests, as per leading international testing and quality standards.

Certifications

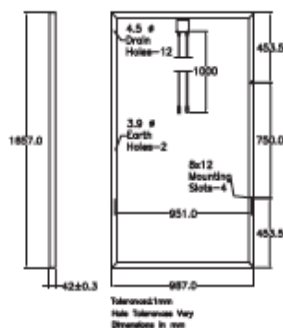
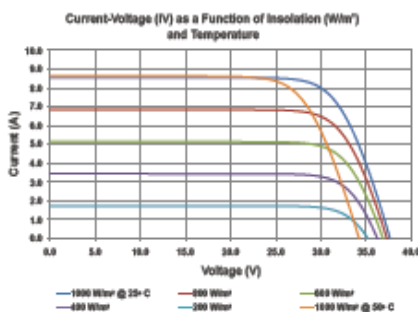
Suniva® ART245-60-3 modules are certified by both Underwriters Laboratory to UL1703 (pending) and by TÜV Rheinland, Germany to the stringent CEMEC 61215: 2005 standard (pending); to IEC 61215 testing for static loads of 5400 pascals, withstanding gusts of wind up to 204 mph (pending); IEC 61730-2, Safety Class II for 1000 VDC applications (pending); EWG guideline 89/932 (CE) (pending); Florida FSEC certification (pending), and by the California Energy Commission (CEC) to be placed on the Eligible California Solar Initiative Photovoltaic Modules Renewables Equipment List (pending).

ART245-60-3

FEATURES

1. Modules contain more than 85% U.S.-made content and are sourced from leading suppliers using high-quality components.
2. State-of-the-art, automated manufacturing facilities provide consistently high quality & performance.
3. Positive power tolerance (-0/+4.99 Wp) ensures extra power to the customer.
4. Certification pending for Underwriters Laboratory to UL1703; TÜV Rheinland to CEMEC 61215: 2005 standard (pending); IEC 61730-2, Safety Class II for 1000 VDC (pending); EWG guideline 89/932 (CE) (pending); Florida FSEC, and California CEC (pending).
5. Industry-leading, 25-year warranty: 5 years with 100% product warranty; 12-year warranty at 90% rated performance and 25-year warranty at 80% rated performance.

Suniva® ART245-60-3 Monocrystalline Solar Modules



Electrical Data (Nominal)

The electrical data apply to standard test conditions (STC): irradiance of 1000 W/m² with AM 1.5 spectra at 25°C.

Power Classification (Max.)	P _{max} (W)	235	240	245
Voltage at Max. Power Point	V _{mp} (V)	29.48	29.62	29.80
Current at Max. Power Point	I _{mp} (A)	8.00	8.12	8.25
Open Circuit Voltage	V _{oc} (V)	37.50	37.62	37.68
Short Circuit Current	I _{sc} (A)	8.62	8.55	8.57

The rated power may only vary by -0/+4.89 Wp and all other electrical parameters by a 5%.

Dimensions and Weights

Cells / Module	60
Module Dimensions	1657 x 987 mm; 65.24 x 38.86 in.
Module Thickness (Depth)	42 mm; 1.65 in.
Approximate Weight	19 kg; 42 lbs.

Characteristic Data

Type of Solar Cell	High-efficiency Suniva® 3 busbar monocrystalline cells of 156 x 156 mm
Frame	Silver anodized aluminum alloy
Glass	Low-iron & tempered with anti-reflective coating
Junction Box	IP67 rated; IEC & UL listed; with internal bypass diodes
Cable & Connectors	4 mm ² cable with MC4 connectors; cable length approximately 1 m

Temperature Coefficients

Voltage	β , V _{oc} (%/°C)	-0.332
Current	α , I _{sc} (%/°C)	+0.035
Power	γ , P _{max} (%/°C)	-0.465

Limits

Max. System Voltage	1000 VDC
Operating Module Temperature	-40°C to +60°C
Storm Resistance	Pending certification to meet IEC 61215 for loads up to 5400 Pa

Suniva® reserves the right to change the data at any time.

II. Data Sheet Inverter

ABB central inverters

PVS800

100 to 1000 kW



Technical data and types

Type designation	-0100W-A	-0250W-A	-0315W-B	-0500W-A	-0630W-B	-0875W-B	-1000W-C
PVS800-S7	100 kW	250 kW	315 kW	500 kW	630 kW	875 kW	1000 kW
Input (DC)							
Maximum input power ($P_{in,max}$) ¹	120 kWp	300 kWp	375 kWp	600 kWp	756 kWp	1050 kWp	1200 kWp
DC voltage range, mpp ($U_{DC,mpp}$)	450 to 625 V	450 to 625 V	525 to 625 V	450 to 625 V	525 to 625 V	525 to 625 V	600 to 650 V
Maximum DC voltage ($U_{DC,max}$)	1000 V	1000 V	1000 V	1100 V	1100 V	1100 V	1100 V
Maximum DC current ($I_{DC,max}$)	245 A	600 A	615 A	1145 A	1230 A	1790 A	1710 A
Number of protected DC inputs	1 (+/-) A ²	2, 4, 6 (+/-)	2, 4, 6 (+/-)	4 to 15 (+/-)	4 to 15 (+/-)	6 to 20 (+/-)	6 to 20 (+/-)
Output (AC)							
Nominal power (P_{NAC}) ³	100 kW	250 kW	315 kW	500 kW	630 kW	875 kW	1000 kW
Maximum output power ⁴	100 kW	250 kW	345 kW	600 kW	700 kW	1050 kW	1200 kW
Power at cos $\phi = 0.95$ ⁵	95 kW	240 kW	300 kW	475 kW	600 kW	830 kW	950 kW
Nominal AC current (I_{NAC})	195 A	465 A	520 A	905 A	1040 A	1445 A	1445 A
Nominal output voltage (U_{NAC}) ⁶	300 V	300 V	350 V	300 V	350 V	350 V	400 V
Output frequency	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz	50/60 Hz
Harmonic distortion, current ⁷	< 3%	< 3%	< 3%	< 3%	< 3%	< 3%	< 3%
Distribution network type ⁸	TN and IT	TN and IT	TN and IT	TN and IT	TN and IT	TN and IT	TN and IT
Efficiency							
Maximum ⁹	98.0%	98.0%	98.6%	98.6%	98.6%	98.7%	98.6%
Euro-eta ¹⁰	97.5%	97.6%	98.3%	98.2%	98.4%	98.5%	98.6%
Power consumption							
Own consumption in operation	210 W	210 W	210 W	490 W	490 W	650 W	650 W
Standby operation consumption	60 W	60 W	60 W	65 W	65 W	65 W	65 W
External auxiliary voltage ¹¹	230 V, 50 Hz	230 V, 50 Hz	230 V, 50 Hz	230 V, 50 Hz	230 V, 50 Hz	230 V, 50 Hz	230 V, 50 Hz
Dimensions and weight							
Width/height/Depth, mm (W/H/D)	1000/2130/600	800/2130/600	1600/2130/600	2500/2130/700	2600/2130/700	2600/2130/700	2600/2130/700
Weight approx. ¹²	550	1100	1100	1600	1900	2220	2220

¹ Recommended maximum input power

² Optional MC3 inputs, 60 A inputs

³ 100 and 250 kW units at 40 °C, 315 and 630 kW at 45 °C, 500, 875 and 1000 kW at 50 °C.

⁴ At 25 °C. See the user manual for details.

⁵ +/- 10%

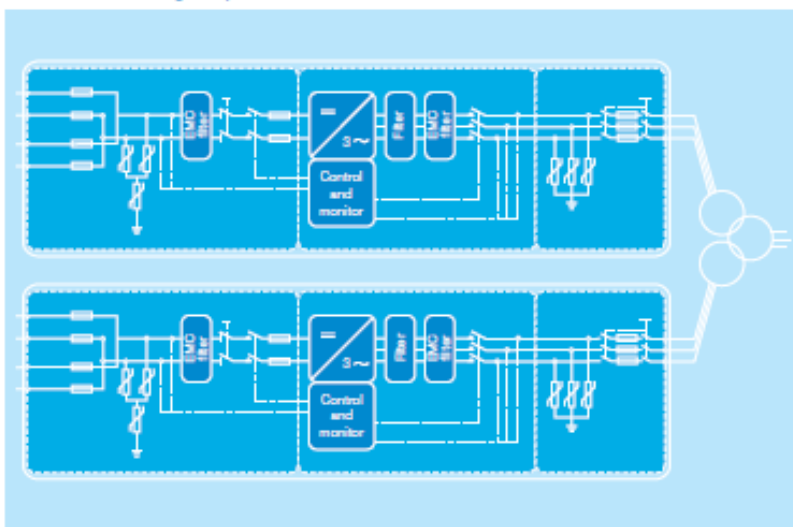
⁶ At nominal power

⁷ Inverter side must be IT type

⁸ Without auxiliary power consumption at min U_{DC}

⁹ 115 V, 60 Hz optional

¹⁰ For the smallest number of protected inputs. See the user manual for details.



Technical data and types

Type designation	-0100kW-A	-0250kW-A	-0315kW-B	-0500kW-A	-0630kW-B	-0875kW-B	-1000kW-C
PVS600-S7	100 kW	250 kW	315 kW	500 kW	630 kW	875 kW	1000 kW
Environmental limits							
Degree of protection	IP42	IP42	IP42	IP42	IP42	IP42	IP42
Ambient temp. range (from ratings) ¹⁾	-15 to +40 °C	-15 to +40 °C	-15 to +45 °C	-15 to +50 °C	-15 to +45 °C	-15 to +50 °C	-15 to +50 °C
Maximum ambient temperature ²⁾	+50 °C	+50 °C	+55 °C	+55 °C	+55 °C	+55 °C	+55 °C
Relative humidity, not condensing	15 to 95%	15 to 95%	15 to 95%	15 to 95%	15 to 95%	15 to 95%	15 to 95%
Maximum altitude (above sea level) ³⁾	2000 m ⁴⁾	2000 m ⁴⁾	2000 m ⁴⁾	4000 m	4000 m	4000 m	4000 m
Maximum noise level	75 dBA ⁵⁾	75 dBA ⁵⁾	75 dBA ⁵⁾	75 dBA ⁵⁾	75 dBA ⁵⁾	75 dBA ⁵⁾	75 dBA ⁵⁾
Maximum air flow of the inverter section	1300 m³/h	2500 m³/h	2500 m³/h	5000 m³/h	5000 m³/h	7550 m³/h	7550 m³/h
Protection							
Ground fault monitoring ⁶⁾	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Grid monitoring	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Anti-islanding	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
DC reverse polarity	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
AC and DC short circuit and over current	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
AC and DC over voltage and temperature	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
User interface and communications							
Local user interface	ABB local control panel						
Analog inputs/outputs	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
Digital inputs/relay outputs	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1
Fieldbus connectivity	Modbus, PROFIBUS, EtherNet						
Product compliance							
Safety and EMC	CE conformity according to LV and EMC directives						
Certifications and approvals ⁷⁾	VDE, CEI, UNE, REI, GDF, IEC, I2.2, BDEW, GOST, AS, ZA						
Grid support and grid functions	Reactive power compensation ⁸⁾ , Power reduction, LVMT, HVMT, Anti-islanding						

¹⁾ Frosting is not allowed. May need optional cabinet heating.

²⁾ Power derating after 40 °C/45 °C/50 °C

³⁾ Power derating above 1000 m

⁴⁾ With option 2000 to 4000 m

⁵⁾ At partial power typically < 70 dBA


⁶⁾ Optional

⁷⁾ More detailed information, please contact ABB

⁸⁾ Also during the night

III. Data Sheet Generator Diesel

Datasheet of Honny Googol 500kW/625kVA Diesel Generator (Air Cooled)



Guangdong Honny Power tech Co.,Ltd

No.2 North Road,Songshan Lake Industrial Park,Donguan , China Tel:
86-769-22780359, Fax: 86-769-22780357

Engine data sheet

Engine Model
PTAA1120G3

Engine control Parts list
CPL:1120-4001

(No. of Data Sheet)
DS 20140401PTAA1120G3

Engine Application:
Generator set& Pump
Drive

Chief Engineer:
Jin ling. Ni

Publication Date:
04-01-2014

Generator Model		HGM688
Genset Prime Power		500kW/625KVA
Engine Ratings:		
Engine Speed	(RPM)	1500
Generator set Frequency	(Hz)	50
Engine Standby Power (LTP)	(kW)	609
Engine Prime Power (PRP)	(kW)	556
Engine Continuous Power (COP)	(kW)	428
Single Fan Power	(kW)	24
Single Fan Consumption	(kW)	24
Quantity of Fan	(Sets)	1
All Fan Consumption	(kW)	24
Engine Net Standby Output (LTP)	(kW)	585
Engine Net Prime Output (PRP)	(kW)	532
Engine Net Continuous Output (COP)	(kW)	404
BMEP for Standby Output	(bar)	26.69
BMEP for Prime Output	(bar)	24.36
BMEP for Continuous Output	(bar)	18.76
Typical Generation Standby Output	(kVA)	687.5
Typical Generation Standby Output	(kW)	550
Typical Generation Prime Output	(kVA)	625
Typical Generation Prime Output	(kW)	500
Typical Generation Continuous Output	(kVA)	475
Typical Generation Continuous Output	(kW)	380
Typical Alternator Efficiency	≥	94.0%
Power Factor		0.8
Speed droop (static) elect. Gov.		0-5%
Governing standards to ISO 8528 Parts 1 and 5		G3
Max. step load acceptance, 1st step (% Prime Output)		54%
Basic Performance Datasheet		
Aspiration Type		Turbocharger, air-air after-cooler
Injection Type		Direct Injection
Configuration		Vee
No. of Cylinders		10
Displacement	(liters)	18.2
Bore	(mm)	128

Stroke	(mm)	142
Compression Ratio		14.6:1
Piston Speed	(m/s)	7.10
Rotation Direction (from flywheel)		Counter Clockwise
Number of Flywheel Teeth		160
Flywheel House Size		SAE1-14
Lubrication System		
Lube Oil Specification		API-CF4
Oil Capacity	(Liters)	40
Max. Permissible Oil Temperature	(°C)	110
Low Oil Pressure Warning	(kPa)	200
Low Oil Pressure Shutdown	(kPa)	160
Oil consumption (as % of fuel consumption)		≤0.5
Cooling System		
Coolant Capacity for Engine	(Liters)	21
Max. Permissible Temperature	(°C)	90
Max. Coolant Warning Temperature	(°C)	95
Max. Coolant Shutdown Temperature	(°C)	105
Thermostat Open Temperature	(°C)	71
Radiator Cooling Flow	(m³/min)	688
Flow of Coolant pump	(m³/h)	25.98
Heat dissipation (engine radiator)	(kW)	293
Heat dissipation (convection)	(kW)	44
Radiator Model		PSCN5000
Fuel System		
Governor Type		Electrical Control
Engine Output at generator set prime output	(kW)	556
Fuel Consumption at 25% of generator set prime output	(l/h)	41.45
Fuel Consumption at 50% of generator set prime output	(l/h)	74.30
Fuel Consumption at 75% of generator set prime output	(l/h)	108.16
Fuel Consumption at 100% of generator set prime output	(l/h)	143.04
Lowest Fuel Consumption Ratio	g/kW.hr	214.73
Intake & Exhaust System (On Standby Output)		
Combustion Air Consumption	(m³/min)	45.68
Max. Intake Restriction	(Kpa)	5
Max. Exhaust Temperature (Before Turbo)	(°C)	680
Max. Exhaust Temperature (After Turbo)	(°C)	525
Max. Exhaust Back Pressure	(Kpa)	5
Exhaust Gas Flow	(m³/min)	55.83
Exhaust Flange Diameter	(mm)	2*100
Electrical System		

Charging Alternator Voltage	(V)	28
Charging Alternator Capacity	(A)	55
Starting Voltage	(V)	24
Starting Motor Capacity	(kW)	1*6.6
Minimum Battery Capacity	(Ah)	2*200
Minimum Temperature for Unaided Cold Start	(°C)	10
Engine Dimension		
Length	(mm)	1557
Width	(mm)	1389
Height	(mm)	1248
Engine Dry Weight w/o Cooling System	(kg)	1425
Note:		
1,All engine parameters are in accordance with ISO3046, ISO8528		
2,All engine parameters are based on 25°C / 100kPa environment condition		
3,No power decrease with below 40°C environment temperature and 1500 meter altitude		
4,More than 40°C and 1500m above sea level , decrease 2% per 10°C , and 4% per 300m		
5,At calorific value 42700 kJ/kg + 5%, density 0.835 kg/dm ³ , temperature 280 K		
6,Above data is only the testing data in our laboratory, it can't used to be the data on all contract		

IV. Data Sheet Minihidro

- Marine design in acc. to ABS, BV, DNV, RINa with approx. power reduction of 5 %
- By 2/3 chording design approx. 10 % power reduction
- By air filter installation approx. 5 % power reduction
- Data like weights, mass moments of inertia, partial load efficiencies, reactances as well as measures on special request.
- Modified powers especially in border range are to agree on special request.

8.2.5 Table 10 - Rated data: 10-pole, 600/ 720 rpm, 200 - 3700 kVA, PF = 0,8

Type	Rated power [kVA], S1, lcl. F					
	400 V, 50 Hz			450 V, 60 Hz		
	40 °C	45 °C	η (%)	40 °C	45 °C	η (%)
SE 400 S10	205	200	91,5	250	240	92,2
M10	260	250	92,4	310	300	92,9
L10	325	315	93,1	410	400	93,6
SE 450 S10	410	400	93,2	495	480	93,7
M10	515	500	93,8	615	600	94,5
SE 500 S10	645	630	94,2	770	750	94,7
M10	820	800	94,9	985	960	95,1
L10	1030	1000	94,8	1230	1200	95,0
SE 630 SA10	1290	1250	95,3	1600	1560	95,5
S10	1600	1560	95,6	1850	1800	95,6
M10	1850	1800	95,6	2200	2150	95,9
L10	2150	2100	95,8	2460	2400	95,9
SE 710 SA10	2460	2400	95,7	2920	2850	96,1
S10	2770	2700	96,0	3250	3150	96,3
M10	3100	3000	96,2	3700	3600	96,4

RIWAYAT HIDUP



Fadly Muttaqin dilahirkan di Bukittinggi pada tanggal 12 April 1996. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Rahmat Hidayat dan Adriyani. Penulis mempunyai hobi bermain musik gitar serta bermain catur. Riwayat pendidikan penulis berawal dari SD Negeri 05 Percobaan kota Bukittinggi (lulus tahun 2008). Kemudian dilanjutkan SMP Negeri 3 Bukittinggi (lulus tahun 2011). Kemudian SMA Negeri 1 Bukittinggi (lulus tahun 2013). Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Bukittinggi pada tahun 2013, penulis melanjutkan studi di Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur SNMPTN dan mengambil program studi Teknik Sistem Tenaga.

Penulis aktif dalam organisasi luar kampus terutama organisasi kedaerahan sebagai anggota Ikatan Mahasiswa Minang Surabaya. Penulis pernah menjadi ketua pelaksana Seminar Nasional Kebudayaan Minangkabau dan menjabat sebagai ketua IASMA Muda Surabaya Periode 2016-2017. E-mail : fadlymuttaqin12@gmail.com

